



УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ  
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ

Филип Ј. Грбовић

**АЛЕЛОПАТСКИ ПОТЕНЦИЈАЛ  
ИЗАБРАНИХ ИНВАЗИВНИХ ВРСТА БИЉАКА  
ИЗ РАЗЛИЧИТИХ ЕКОСИСТЕМА СРБИЈЕ**

докторска дисертација

Крагујевац, 2021



UNIVERSITY OF KRAGUJEVAC  
FACULTY OF SCIENCE

Filip J. Grbović

**ALLELOPATHIC POTENTIAL OF SELECTED  
INVASIVE PLANT SPECIES FROM DIFFERENT  
ECOSYSTEMS OF SERBIA**

Doctoral Dissertation

Kragujevac, 2021

<b>Аутор</b>
Име и презиме: Филип Грбовић
Датум и место рођења: 11.12.1988. године, Крагујевац
Садашње запослење: Природно-математички факултет, Универзитет у Крагујевцу, звање истраживач-сарадник
<b>Докторска дисертација</b>
Наслов: Алелопатски потенцијал изабраних инвазивних врста биљака из различитих екосистема Србије
Број страница: 226
Број слика: 47
Број библиографских података: 611
Установа и место где је рад израђен: Природно-математички факултет, Универзитет у Крагујевцу
Научна област (УДК): Екологија биљака (581.5)
<b>Ментор:</b> Проф. др Марина Топузовић, ванредни професор Природно-математичког факултета, Универзитета у Крагујевцу
<b>Оцена и одбрана</b>
Датум пријаве теме: 16.11.2016. године
Број одлуке и датум прихватања теме докторске дисертације: IV-01-150/4 08.02.2017. године
<b>Комисија за оцену научне заснованости теме и испуњености услова кандидата:</b>
1. Др Марина Топузовић, ванредни професор, Природно-математички факултет, Универзитет у Крагујевцу, научна област: Биологија, ужа научна област: Морфологија, фитохемија и систематика биљака
2. Др Гордана Гајић, научни сарадник, Институт за биолошка истраживања „Синиша Станковић“, Универзитет у Београду, Институт од националног значаја за Републику Србију, научна област: Биологија, ужа научна област: Екологија биљака
3. Др Милан Станковић, доцент, Природно-математички факултет, Универзитет у Крагујевцу, научна област: Биологија, ужа научна област: Морфологија, систематика и филогенија биљака
<b>Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације:</b>
1. Др Гордана Гајић, виши научни сарадник, Институт за биолошка истраживања „Синиша Станковић“, Универзитет у Београду, Институт од националног значаја за Републику Србију, научна област: Биологија, ужа научна област: Екологија биљака
2. Др Милан Станковић, ванредни професор, Природно-математички факултет, Универзитет у Крагујевцу, научна област: Биологија, ужа научна област: Екологија, биогеографија и заштита животне средине
3. Др Снежана Бранковић, доцент, Природно-математички факултет, Универзитет у Крагујевцу, научна област: Биологија, ужа научна област: Морфологија, фитохемија и систематика биљака
Датум одбране дисертације:

# **Предговор**

---

Рад на овој докторској дисертацији обухватио је теренска истраживања на различитим локалитетима у Србији и експериментални део који је реализован у лабораторијама Института за биологију и екологију Природно-математичког факултета у Крагујевцу у оквиру пројекта Министарства просвете, науке и технолошког развоја (ИИИ 41010). Део истраживања спроведен је на Институту за хемију Природно-математичког факултета у Крагујевцу, Институту за биолошка истраживања "Синиша Станковић" Универзитета у Београду и Институту за шумарство у Београду.

Искрено се захваљујем свом ментору проф. др Марини Топузовић на указаном поверењу и подршци, професионалним саветима и усмеравању током свих година докторских студија, као и при изради ове докторске дисертације.

Велику захвалност дугујем др Гордани Гајић, вишем научном сараднику Института за биолошка истраживања „Синиша Станковић”, председнику комисије, на увек радо пруженој и несебичној помоћи при обављању лабораторијских анализа, обраде резултата и писања ове докторске дисертације. Захваљујем јој се на искрености и разумевању у најважнијим и најтежим тренуцима, јер је указано поверење било велики подстицај за мој научни рад.

Са задовољством се захваљујем члановима комисије проф. др Милану Станковићу и доц. др Снежани Бранковић на конструктивним предлозима, примедбама и идејама које су допринеле побољшању квалитета ове докторске дисертације. Такође, др Снежани Бранковић дугујем захвалност на великој помоћи при избору локалитета и раду на терену.

Посебну захвалност дугујем др Лоли Ђурђевићу, научном саветнику у пензији Института за биолошка истраживања „Синиша Станковић“, на пренетим искуствима, вештинама и знању везаним за ателопатске студије и теоријски увод у ово веома интересантно поље хемијске екологије биљака. Захваљујем се и др Аци Марковићу, ванредном професору у пензији Природно-математичког факултета у Крагујевцу, на мотивацији за рад на пољу инвазивних биљних врста и корисним саветима око избора врста и локалитета.

Захваљујем се др Зорану Симићу, научном сараднику Института за хемију, Природно-математичког факултета у Крагујевцу, на помоћи при одређивању садржаја хемијских елемената у супстрату и биљном материјалу уз помоћ атомског апсорпционог спектрофотометра; проф др. Ненаду Вуковићу и доц др. Андрију Ђирићу (Институт за хемију, ПМФ Крагујевац) за квалитативну и квантитативну анализу фенолних једињења у супстрату уз помоћ течног хроматографа високих перформанси (HPLC); др Данијели Мишић, научном саветнику (Институт за биолошка истраживања „Синиша Станковић“) за спроведене HPLC анализе екстракта листова и стеље испитиваних биљних врста; др Љубинку Ракоњицу, директору Института за Шумарство у Београду, за помоћ при одређивању хемијских карактеристика супстрата; Наташи Радовановић, докторанту Биолошког факултета у Београду, за помоћ при идентификацији биљних врста и заједница на испитиваним стаништима.

За несебичну помоћ при теренском раду, сакупљању и обради узорака, као и коректури текста докторске дисертације захваљујем се својим драгим пријатељима и младим колегама са Института за биологију и екологију ПМФ-а у Крагујевцу.

На подршци, љубави и разумевању током свих година рада на докторској дисертацији највећу захвалност дугујем својој породици.

Аутор

## Абстракт

Алелопатија је један од кључних механизма који омогућава алохтоним биљним врстама да постану инвазивне у ареалу интродукције. Главни циљ истраживања ове докторске дисертације био је утврђивање алелопатског потенцијала инвазивних биљних врста *Robinia pseudoacacia* L., *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle и *Amorpha fruticosa* L. које расту на различитим стаништима: Делиблатска пешчара, депонија пепела, јаловиште азбеста, кречњак и алувијални нанос Велике Мораве. Резултати истраживања указали су на већи алелопатски потенцијал *A. altissima* и *A. fruticosa* у односу на *R. pseudoacacia* на испитиваним стаништима. Веће вредности инхибиције раста коренка индикаторске врсте *Trifolium pratense* L. биле су везане за ниже вредности рН, већи садржај С, N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni и Zn, као и већи садржај фенолних једињења (3,5-ДНВА, 3-НВА, *n*-кумаринске киселине, ферулинске киселине и рутина) у супстрату. Инхибиција раста коренка била је позитивно корелисана са садржајем фенолних једињења у листовима. Висок садржај фенолних једињења у листовима и њихова висока инхибиторна активност могу бити резултат токсичног садржаја Ni и Cr, као и дефицита Zn и Mn у листовима биљака. Стеља *A. fruticosa* и *A. altissima* се карактерисала већим садржајем фенолних једињења и инхибицијом раста коренка *T. pratense* у односу на *R. pseudoacacia*. Такође, стеља испитиваних врста биљака на различитим стаништима се карактерисала већим садржајем хемијских елемената у односу на листове услед директне апсорпције тешких метала из супстрата у стељу, и њихове акумулације на крају сезоне у листовима. Резултати ове докторске дисертације указују да испитиване биљне врсте имају позитиван ефекат на хемизам супстрата и могу бити погодне за обнову вегетације на антропогено измењеним стаништима, али уз ризик инвазивности услед потенцијалног алелопатског ефекта на друге врсте у екосистему.

**Кључне речи:** инвазивне биљне врсте, *Robinia pseudoacacia* L., *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle, *Amorpha fruticosa* L., алелохемикалије, фенолна једињења, инхибиција раста коренка, хемијска екологија, антропогено измењена станишта.

## Abstract

Allelopathy is one of the key mechanisms that allows non-native plant species to become invasive in the area of introduction. The aim of the research of this doctoral dissertation was to determine the allelopathic potential of invasive plant species *Robinia pseudoacacia* L., *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle and *Amorpha fruticosa* L. growing in different habitats: Deliblato sand, fly ash deposits, asbestos tailings, limestone and alluvial sediment of Velika Morava river. The results of the study indicated a higher allelopathic potential of *A. altissima* and *A. fruticosa* compared to *R. pseudoacacia* in investigated habitats. Higher values of root growth inhibition of the indicator species *Trifolium pratense* L. were associated with lower pH values, higher content of C, N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni and Zn, as well as higher content of phenolic compounds (3,5-DHBA, 3-HBA, *p*-coumaric acid, ferulic acid and rutin) in the substrate. Root growth inhibition was positively correlated with the content of phenolics in the leaves. The high content of phenolics in the leaves and their high inhibitory activity can be the result of the toxic content of Ni and Cr, as well as the deficiency of Zn and Mn in the leaves of plants. The litter of *A. fruticosa* and *A. altissima* was characterized by a higher content of phenolics and inhibition of *T. pratense* root growth, compared to *R. pseudoacacia*. Also, the litter of the investigated plant species in different habitats was characterized by a higher content of chemical elements compared to the leaves, due to the direct absorption of heavy metals from the substrate, and their accumulation in the leaves at the end of the vegetation season. The results of this doctoral dissertation indicate that the selected plant species have a positive effect on substrate chemistry and may be suitable for revegetation in anthropogenically degraded habitats, but with the risk of invasiveness due to potential allelopathic effect on other species in the ecosystem.

**Keywords:** invasive species, *Robinia pseudoacacia* L., *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle, *Amorpha fruticosa* L., allelochemicals, phenolic compounds, radicle growth inhibition, chemical ecology, degraded habitats.

# САДРЖАЈ

<b>1. УВОД</b> .....	1
1.1. АЛЕЛОПАТИЈА .....	2
1.1.1. Алелопатија и алелохемикалије – појам, дефиниција и класификација .....	2
1.1.2. Фенолна једињења као алелохемикалије.....	4
1.1.3. Хемијски елементи као алелохемикалије – елементална алелопатија.....	7
1.1.4. Индиректна алелопатија – алелохемикалије и земљиште .....	8
1.2. ИНВАЗИВНЕ ВРСТЕ БИЉАКА .....	10
1.2.1. Појам и дефиниција инвазивних врста.....	10
1.2.2. Карактеристике инвазивних врста биљака.....	11
1.2.3. Карактеристике станишта подложних инвазији биљних врста.....	12
1.2.4. Утицај инвазивних врста биљака на екосистеме .....	14
1.2.4. Механизми инвазивности биљних врста – основне хипотезе .....	15
1.3. АЛЕЛОПАТИЈА КАО МЕХАНИЗАМ ИНВАЗИВНОСТИ БИЉНИХ ВРСТА .....	16
1.4. ЗНАЧАЈ ИСТРАЖИВАЊА АЛЕЛОПАТИЈЕ ЗА ЕКОЛОШКУ НАУКУ И ПРИМЕЊИВОСТ У ПРАКСИ .....	18
<b>2. КАРАКТЕРИСТИКЕ ИСПИТИВАНИХ ВРСТА БИЉАКА</b> .....	20
2.1. <i>Robinia pseudoacacia</i> L. – БИОЛОГИЈА, ЕКОЛОГИЈА И ИНВАЗИВНОСТ.....	21
2.2. <i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle - БИОЛОГИЈА, ЕКОЛОГИЈА И ИНВАЗИВНОСТ .....	26
2.3. <i>Amorpha fruticosa</i> L. - БИОЛОГИЈА, ЕКОЛОГИЈА И ИНВАЗИВНОСТ.....	30
<b>3. ЦИЉЕВИ ИСТРАЖИВАЊА</b> .....	34
<b>4. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ</b> .....	37
4.1 КАРАКТЕРИСТИКЕ ИСПИТИВАНИХ СТАНИШТА .....	38
4.1.1. Делиблатска пешчара (Шумарак).....	40
4.1.2. Депонија пепела (ТЕНТ-А).....	46
4.1.3. Јаловиште азбеста (Страгари).....	51
4.1.4. Кречњачко станиште (Крш – Велики Шењ).....	54
4.1.5. Алувијални нанос Велике Мораве (Багрдан).....	56
4.2 УЗОРКОВАЊЕ СУПСТРАТА И БИЉНОГ МАТЕРИЈАЛА.....	59
4.3. ХЕМИЈСКЕ И БИОХЕМИЈСКЕ АНАЛИЗЕ СУПСТРАТА И БИЉНОГ МАТЕРИЈАЛА .....	60
4.3.1. Одређивање хемијских карактеристика супстрата .....	60
4.3.2. Утврђивање концентрације хемијских елемената у супстрату и биљном материјалу .....	61
4.3.5. Детерминација садржаја фенолних једињења у супстрату и биљном материјалу .....	61
4.4. АЛЕЛОПАТСКИ БИОТЕСТОВИ.....	62
4.5. СТАТИСТИЧКА ОБРАДА ПОДАТАКА .....	64



<b>5. РЕЗУЛТАТИ</b> .....	65
5.1. ХЕМИЈСКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ СУПСТРАТА ИСПИТИВАНИХ ВРСТА БИЉАКА НА РАЗЛИЧИТИМ СТАНИШТИМА.....	66
5.1.1. Хемијске карактеристике супстрата <i>Robinia pseudoacacia</i> на различитим стаништима .....	66
5.1.2. Хемијске карактеристике супстрата <i>Ailanthus altissima</i> на различитим стаништима .....	70
5.1.3. Хемијске карактеристике супстрата <i>Amorpha fruticosa</i> на различитим стаништима .....	73
5.1.4. Хемијске карактеристике супстрата – упоредна анализа испитиваних биљних врста.....	76
5.2. САДРЖАЈ ХЕМИЈСКИХ ЕЛЕМЕНАТА У СУПСТРАТУ ИСПИТИВАНИХ ВРСТА БИЉАКА НА РАЗЛИЧИТИМ СТАНИШТИМА.....	78
5.2.1. Садржај хемијских елемената у супстрату <i>Robinia pseudoacacia</i> на различитим стаништима .....	78
5.2.2. Садржај хемијских елемената у супстрату <i>Ailanthus altissima</i> на различитим стаништима .....	81
5.2.3. Садржај хемијских елемената у супстрату <i>Amorpha fruticosa</i> на различитим стаништима .....	84
5.2.4. Садржај хемијских елемената у супстрату – упоредна анализа испитиваних биљних врста.....	87
5.3. САДРЖАЈ ХЕМИЈСКИХ ЕЛЕМЕНАТА У ЛИСТОВИМА И СТЕЉИ ИСПИТИВАНИХ ВРСТА НА РАЗЛИЧИТИМ СТАНИШТИМА .....	89
5.3.1. Садржај хемијских елемената у листовима и стељи <i>Robinia pseudoacacia</i> на различитим стаништима .....	89
5.3.2. Садржај хемијских елемената у листовима и стељи <i>Ailanthus altissima</i> на различитим стаништима.....	92
5.3.3. Садржај хемијских елемената у листовима и стељи <i>Amorpha fruticosa</i> на различитим стаништима .....	95
5.3.4. Садржај хемијских елемената у листовима и стељи – упоредна анализа испитиваних биљних врста.....	98
5.4. САДРЖАЈ ФЕНОЛНИХ ЈЕДИЊЕЊА У СУПСТРАТУ ИСПИТИВАНИХ ВРСТА БИЉАКА НА РАЗЛИЧИТИМ СТАНИШТИМА.....	102
5.4.1. Садржај фенолних једињења у супстрату <i>Robinia pseudoacacia</i> на различитим стаништима .....	102
5.4.2. Садржај фенолних једињења у супстрату <i>Ailanthus altissima</i> на различитим стаништима .....	104
5.4.3. Садржај фенолних једињења у супстрату <i>Amorpha fruticosa</i> на различитим стаништима .....	106
5.4.4. Садржај фенолних једињења у супстрату – упоредна анализа испитиваних биљних врста.....	108
5.5. САДРЖАЈ ФЕНОЛНИХ ЈЕДИЊЕЊА У ЛИСТОВИМА И СТЕЉИ ИСПИТИВАНИХ ВРСТА БИЉАКА НА РАЗЛИЧИТИМ СТАНИШТИМА.....	110
5.5.1. Садржај фенолних једињења у листовима и стељи <i>Robinia pseudoacacia</i> на различитим стаништима .....	110
5.5.2. Садржај фенолних једињења у листовима и стељи <i>Ailanthus altissima</i> на различитим стаништима.....	113

5.5.3. Садржај фенолних једињења у листовима и стељи <i>Amorpha fruticosa</i> на различитим стаништима .....	116
5.5.4. Садржај фенолних једињења у листовима и стељи – упоредна анализа испитиваних биљних врста.....	119
<b>5.6. ИНХИБИТОРНА АКТИВНОСТ ИСПИТИВАНИХ ВРСТА БИЉАКА НА РАЗЛИЧИТИМ СТАНИШТИМА.....</b>	<b>122</b>
5.6.1. Инхибиторна активност <i>Robinia pseudoacacia</i> на различитим стаништима .....	122
5.6.2. Инхибиторна активност <i>Ailanthus altissima</i> на различитим стаништима .....	126
5.6.3. Инхибиторна активност <i>Amorpha fruticosa</i> на различитим стаништима .....	130
5.6.4. Упоредна анализа инхибиторне активности испитиваних врста биљака .....	134
<b>5.7. АНАЛИЗА ГЛАВНИХ КОМПОНЕНТИ СУПСТРАТА, ЛИСТОВА И СТЕЉЕ ИСПИТИВАНИХ ВРСТА БИЉАКА.....</b>	<b>137</b>
5.7.1. Анализа главних компоненти супстрата <i>Robinia pseudoacacia</i> .....	137
5.7.2. Анализа главних компоненти супстрата <i>Ailanthus altissima</i> .....	139
5.7.3. Анализа главних компоненти супстрата <i>Amorpha fruticosa</i> .....	141
5.7.4. Анализа главних компоненти листова и стеље <i>Robinia pseudoacacia</i> .....	144
5.7.5. Анализа главних компоненти листова и стеље <i>Ailanthus altissima</i> .....	146
5.7.6. Анализа главних компоненти листова и стеље <i>Amorpha fruticosa</i> .....	148
<b>6. ДИСКУСИЈА .....</b>	<b>151</b>
6.1. ИНДИРЕКТНА АЛЕЛОПАТИЈА – ЕФЕКТИ ИНВАЗИВНИХ ВРСТА БИЉАКА НА ХЕМИЈСКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ СУПСТРАТА .....	152
6.1.1. Утицај испитиваних биљних врста на хемијске карактеристике супстрата на различитим стаништима .....	152
6.1.2. Утицај испитиваних биљних врста на садржај хемијских елемената у супстрату и стељи на различитим стаништима .....	159
6.2. ДИРЕКТНА АЛЕЛОПАТИЈА – ИНХИБИТОРНИ ЕФЕКТИ АЛЕЛОХЕМИКАЛИЈА ИЗ СУПСТРАТА, ЛИСТОВА И СТЕЉЕ ИНВАЗИВНИХ ВРСТА БИЉАКА .....	171
6.2.1. Директна алелопатска активност <i>Robinia pseudoacacia</i> на различитим стаништима .....	171
6.2.2. Директна алелопатска активност <i>Ailanthus altissima</i> на различитим стаништима .....	175
6.2.3. Директна алелопатска активност <i>Amorpha fruticosa</i> на различитим стаништима .....	178
6.2.4. Упоредна анализа алелопатске активности испитиваних биљних врста и њихов еколошки значај .....	180
<b>7. ЗАКЉУЧЦИ.....</b>	<b>184</b>
<b>8. ЛИТЕРАТУРА .....</b>	<b>188</b>
<b>9. ПРИЛОЗИ.....</b>	<b>223</b>

## Листа слика

---

- Слика 1. Hans Molisch и Elroy Rice – зачетници модерних алелопатских истраживања
- Слика 2. Синтеза, ослобађање, кретање и дејство алелохемикалија (фенолних једињења) у екосистему
- Слика 3. Елементална алелопатија у систему биљка – земљиште
- Слика 4. Фактори који детерминишу инвазивност биљних врста и инвазибилност станишта
- Слика 5. Хипотеза „новог оружја“
- Слика 6. *Robinia pseudoacacia* L.
- Слика 7. Ареал дистрибуције *Robinia pseudoacacia* L. у свету и јужној Европи
- Слика 8. *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle
- Слика 9. Ареал дистрибуције врсте *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle
- Слика 10. *Amorpha fruticosa* L.
- Слика 11. Ареал дистрибуције врсте *Amorpha fruticosa* L.
- Слика 12. Истраживана станишта и локалитети у Србији
- Слика 13. Делиблатска пешчара (Шумарак)
- Слика 14. *Robinia pseudoacacia* L. у Делиблатској пешчари
- Слика 15. *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle у Делиблатској пешчари
- Слика 16. *Amorpha fruticosa* L. у Делиблатској пешчари
- Слика 17. Депонија пепела ТЕНТ-А
- Слика 18. *Robinia pseudoacacia* L. на депонији пепела ТЕНТ-А
- Слика 19. *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle на депонији пепела ТЕНТ-А
- Слика 20. *Amorpha fruticosa* L. на депонији пепела ТЕНТ-А
- Слика 21. Јаловиште азбеста Страгари
- Слика 22. *Robinia pseudoacacia* L. на јаловишту азбеста Страгари
- Слика 23. Кречњачко станиште Крш – Велики Шењ
- Слика 24. *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle на кречњачком станишту Крш – Велики Шењ
- Слика 25. Алувијални нанос Велике Мораве (Багрдан)
- Слика 26. *Amorpha fruticosa* L. на алувијалном наносу Велике Мораве (Багрдан)
- Слика 27. Узорковање супстрата и биљног материјала на различитим стаништима
-

---

<b>Слика 28.</b>	Алелопатски биоесеј – сендвич метода са ризосферним земљиштем
<b>Слика 29.</b>	Алелопатски биоесеј – сендвич метода са листовима/стељом
<b>Слика 30.</b>	Инхибиција раста коренка индикаторске врсте <i>T. pratense</i> у биотестовима са супстратом <i>R. pseudoacacia</i> на различитим стаништима
<b>Слика 31.</b>	Инхибиција раста коренка индикаторске врсте <i>T. pratense</i> у биотестовима са листовима и стељом <i>R. pseudoacacia</i> на различитим стаништима
<b>Слика 32.</b>	Инхибиција раста коренка индикаторске врсте <i>T. pratense</i> у биотестовима са супстратом <i>A. altissima</i> на различитим стаништима
<b>Слика 33.</b>	Инхибиција раста коренка индикаторске врсте <i>T. pratense</i> у биотестовима са листовима и стељом <i>A. altissima</i> на различитим стаништима
<b>Слика 34.</b>	Инхибиција раста коренка индикаторске врсте <i>T. pratense</i> у биотестовима са супстратом <i>A. fruticosa</i> на различитим стаништима
<b>Слика 35.</b>	Инхибиција раста коренка индикаторске врсте <i>T. pratense</i> у биотестовима са листовима и стељом <i>A. fruticosa</i> на различитим стаништима
<b>Слика 36.</b>	Анализа главних компоненти (РСА) различитих варијабли у контролном супстрату <i>R. pseudoacacia</i> на различитим стаништима
<b>Слика 37.</b>	Анализа главних компоненти (РСА) различитих варијабли у ризосферном супстрату <i>R. pseudoacacia</i> на различитим стаништима
<b>Слика 38.</b>	Анализа главних компоненти (РСА) различитих варијабли у контролном супстрату <i>A. altissima</i> на различитим стаништима
<b>Слика 39.</b>	Анализа главних компоненти (РСА) различитих варијабли у ризосферном супстрату <i>A. altissima</i> на различитим стаништима
<b>Слика 40.</b>	Анализа главних компоненти (РСА) различитих варијабли у контролном супстрату код <i>A. fruticosa</i> на различитим стаништима
<b>Слика 41.</b>	Анализа главних компоненти (РСА) различитих варијабли у ризосферном супстрату <i>A. fruticosa</i> на различитим стаништима
<b>Слика 42.</b>	Анализа главних компоненти (РСА) различитих варијабли у листовима <i>R. pseudoacacia</i> на различитим стаништима
<b>Слика 43.</b>	Анализа главних компоненти (РСА) различитих варијабли у стељи <i>R. pseudoacacia</i> са 3 различита станишта
<b>Слика 44.</b>	Анализа главних компоненти (РСА) различитих варијабли у листовима <i>A. altissima</i> са 3 различита станишта
<b>Слика 45.</b>	Анализа главних компоненти (РСА) различитих варијабли у стељи <i>A. altissima</i> на различитим стаништима
<b>Слика 46.</b>	Анализа главних компоненти (РСА) различитих варијабли у листовима <i>A. fruticosa</i> на различитим стаништима
<b>Слика 47.</b>	Анализа главних компоненти (РСА) различитих варијабли у стељи <i>A. fruticosa</i> на различитим стаништима

---

## Листа табела

---

Табела 1.	Карактеристике испитиваних станишта и локалитета
Табела 2.	Утицај станишта и типа супстрата (контролни/ризосферни) на варијабилност хемијских карактеристика супстрата <i>R. pseudoacacia</i>
Табела 3.	Хемијске карактеристике контролног и ризосферног супстрата <i>R. pseudoacacia</i> на различитим стаништима
Табела 4.	Упоредна анализа хемијских карактеристика контролног и ризосферног супстрата <i>R. pseudoacacia</i> на различитим стаништима
Табела 5.	Утицај станишта и типа супстрата на варијабилност хемијских карактеристика супстрата <i>A. altissima</i>
Табела 6.	Хемијске карактеристике контролног и ризосферног супстрата <i>A. altissima</i> на различитим стаништима
Табела 7.	Упоредна анализа хемијских карактеристика контролног супстрата и ризосферног супстрата <i>A. altissima</i> на различитим стаништима
Табела 8.	Утицај станишта и типа супстрата на варијабилност хемијских карактеристика супстрата <i>A. fruticosa</i>
Табела 9.	Хемијске карактеристике контролног и ризосферног супстрата <i>A. fruticosa</i> на различитим стаништима
Табела 10.	Упоредна анализа хемијских карактеристика контролног и ризосферног супстрата <i>A. fruticosa</i> на различитим стаништима
Табела 11.	Утицај станишта и врсте биљке на варијабилност хемијских карактеристика ризосферног супстрата испитиваних биљних врста
Табела 12.	Упоредна анализа хемијских карактеристика ризосферног супстрата испитиваних врста биљака на различитим стаништима
Табела 13.	Утицај станишта и типа супстрата (контролни/ризосферни) на варијабилност садржаја хемијских елемената у супстрату <i>R. pseudoacacia</i>
Табела 14.	Садржај хемијских елемената ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) у контролном и ризосферном супстрату <i>R. pseudoacacia</i> на различитим стаништима
Табела 15.	Упоредна анализа садржаја хемијских елемената ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) у контролном и ризосферном супстрату <i>R. pseudoacacia</i> на различитим стаништима
Табела 16.	Утицај станишта и типа супстрата на варијабилност садржаја хемијских елемената у супстрату <i>A. altissima</i>
Табела 17.	Садржај хемијских елемената ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) у контролном и ризосферном супстрату <i>A. altissima</i> на различитим стаништима
Табела 18.	Упоредна анализа садржаја хемијских елемената у контролном и ризосферном супстрату <i>A. altissima</i> на различитим стаништима
Табела 19.	Утицај станишта и типа супстрата на варијабилност садржаја хемијских елемената у супстрату <i>A. fruticosa</i>

---

---

<b>Табела 20.</b>	Садржај хемијских елемената ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) у контролном и ризосферном супстрату <i>A. fruticosa</i> на различитим стаништима
<b>Табела 21.</b>	Упоредна анализа садржаја хемијских елемената ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) у контролном и ризосферном супстрату <i>A. fruticosa</i> на различитим стаништима
<b>Табела 22.</b>	Утицај станишта и врсте биљке на варијабилност укупног садржаја хемијских елемената у ризосферном супстрату испитиваних биљних врста
<b>Табела 23.</b>	Упоредна анализа садржаја хемијских елемената у ризосферном супстрату испитиваних врста биљака из Делиблатске пешчаре и са депоније пепела ТЕНТ-А
<b>Табела 24.</b>	Утицај станишта и типа биљног материјала (лист/стеља) на варијабилност садржаја хемијских елемената код <i>R. pseudoacacia</i>
<b>Табела 25.</b>	Садржај хемијских елемената ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) у листовима и стељи <i>R. pseudoacacia</i> на различитим стаништима
<b>Табела 26.</b>	Упоредна анализа садржаја хемијских елемената ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) у листовима и стељи <i>R. pseudoacacia</i> на различитим стаништима
<b>Табела 27.</b>	Утицај станишта и типа биљног материјала (лист/стеља) на варијабилност садржаја хемијских елемената код <i>A. altissima</i>
<b>Табела 28.</b>	Садржај хемијских елемената ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) у листовима и стељи <i>A. altissima</i> на различитим стаништима
<b>Табела 29.</b>	Упоредна анализа садржаја хемијских елемената ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) у листовима и стељи <i>A. altissima</i> на различитим стаништима
<b>Табела 30.</b>	Утицај станишта и типа биљног материјала (лист/стеља) на варијабилност садржаја хемијских елемената код <i>A. fruticosa</i>
<b>Табела 31.</b>	Садржај хемијских елемената ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) у листовима и стељи <i>A. fruticosa</i> на различитим стаништима
<b>Табела 32.</b>	Упоредна анализа садржаја хемијских елемената ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) у листовима и стељи <i>A. fruticosa</i> на различитим стаништима
<b>Табела 33.</b>	Утицај станишта и врсте биљке на варијабилност садржаја хемијских елемената у листовима и стељи испитиваних биљних врста
<b>Табела 34.</b>	Упоредна анализа садржаја хемијских елемената у листовима испитиваних врста биљака на различитим стаништима
<b>Табела 35.</b>	Упоредна анализа садржаја хемијских елемената у стељи испитиваних врста биљака на различитим стаништима
<b>Табела 36.</b>	Утицај станишта и типа супстрата (контролни/ризосферни) на варијабилност садржаја фенолних једињења у супстрату <i>R. pseudoacacia</i>
<b>Табела 37.</b>	Садржај фенолних једињења ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) у контролном и ризосферном супстрату <i>R. pseudoacacia</i> на различитим стаништима
<b>Табела 38.</b>	Упоредна анализа садржаја фенолних једињења ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) у контролном и ризосферном супстрату <i>R. pseudoacacia</i> на различитим стаништима

---

---

<b>Табела 39.</b>	Утицај станишта и типа супстрата на варијабилност садржаја фенолних једињења у супстрату <i>A. altissima</i>
<b>Табела 40.</b>	Садржај фенолних једињења ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) у контролном и ризосферном супстрату <i>A. altissima</i> на различитим стаништима
<b>Табела 41.</b>	Упоредна анализа садржаја фенолних једињења ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) у контролном и ризосферном супстрату <i>A. altissima</i> на различитим стаништима
<b>Табела 42.</b>	Утицај станишта и типа супстрата на варијабилност садржаја фенолних једињења у супстрату <i>A. fruticosa</i>
<b>Табела 43.</b>	Садржај фенолних једињења ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) у контролном и ризосферном супстрату <i>A. fruticosa</i> на различитим стаништима
<b>Табела 44.</b>	Упоредна анализа садржаја фенолних једињења ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) у супстрату <i>A. fruticosa</i> на различитим стаништима
<b>Табела 45.</b>	Утицај станишта и врсте биљке на варијабилност садржаја хемијских елемената у ризосферном супстрату испитиваних биљних врста
<b>Табела 46.</b>	Упоредна анализа садржаја фенолних једињења у ризосферном супстрату испитиваних врста биљака на различитим стаништима
<b>Табела 47.</b>	Утицај станишта и типа биљног материјала (лист/стеља) на варијабилност садржаја фенолних једињења код <i>R. pseudoacacia</i>
<b>Табела 48.</b>	Садржај фенолних једињења ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) у листовима и стељи <i>R. pseudoacacia</i> на различитим стаништима
<b>Табела 49.</b>	Упоредна анализа садржаја фенолних једињења ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) у листовима и стељи <i>R. pseudoacacia</i> на различитим стаништима
<b>Табела 50.</b>	Утицај станишта и типа биљног материјала (лист/стеља) на варијабилност садржаја фенолних једињења код <i>A. altissima</i>
<b>Табела 51.</b>	Садржај фенолних једињења ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) у листовима и стељи <i>A. altissima</i> на различитим стаништима
<b>Табела 52.</b>	Упоредна анализа садржаја фенолних једињења ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) у листовима и стељи <i>A. altissima</i> на различитим стаништима
<b>Табела 53.</b>	Утицај станишта и типа биљног материјала (лист/стеља) на варијабилност садржаја фенолних једињења код <i>A. fruticosa</i>
<b>Табела 54.</b>	Садржај фенолних једињења ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) у листовима и стељи <i>A. fruticosa</i> на различитим стаништима
<b>Табела 55.</b>	Упоредна анализа садржаја фенолних једињења ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) у листовима и стељи <i>A. fruticosa</i> на различитим стаништима
<b>Табела 56.</b>	Утицај станишта и врсте биљке на варијабилност садржаја фенолних једињења у листовима и стељи испитиваних биљних врста
<b>Табела 57.</b>	Упоредна анализа садржаја фенолних једињења у листовима испитиваних врста биљака на различитим стаништима
<b>Табела 58.</b>	Упоредна анализа садржаја фенолних једињења у стељи испитиваних врста биљака на различитим стаништима

---

---

<b>Табела 59.</b>	Утицај станишта и типа супстрата на варијабилност инхибиције раста коренка <i>T. pratense</i> у супстрату <i>R. pseudoacacia</i>
<b>Табела 60.</b>	Инхибиција раста коренка <i>T. pratense</i> (%) у биотестовима са супстратом <i>R. pseudoacacia</i> на различитим стаништима
<b>Табела 61.</b>	Утицај станишта и типа биљног материјала (лист/стеља) <i>R. pseudoacacia</i> на варијабилност инхибиције раста коренка <i>T. pratense</i>
<b>Табела 62.</b>	Инхибиција раста коренка <i>T. pratense</i> (%) у биотестовима са биљним материјалом <i>R. pseudoacacia</i> (лист/стеља) на различитим стаништима
<b>Табела 63.</b>	Утицај станишта и типа супстрата на варијабилност инхибиције раста коренка <i>T. pratense</i> у биотестовима са супстратом <i>A. altissima</i>
<b>Табела 64.</b>	Инхибиција раста коренка <i>T. pratense</i> (%) у биотестовима са супстратом <i>A. altissima</i> на различитим стаништима
<b>Табела 65.</b>	Утицај станишта и типа биљног материјала (лист/стеља) на варијабилност инхибиције раста коренка <i>T. pratense</i> у биотестовима код <i>A. altissima</i>
<b>Табела 66.</b>	Инхибиција раста коренка <i>T. pratense</i> у биотестовима са биљним материјалом <i>A. altissima</i> (лист/стеља) на различитим стаништима
<b>Табела 67.</b>	Утицај станишта и типа супстрата (контролни/ризосферни) на варијабилност инхибиције раста коренка <i>T. pratense</i> код <i>A. fruticosa</i>
<b>Табела 68.</b>	Инхибиција раста коренка <i>T. pratense</i> у биотестовима са супстратом <i>A. fruticosa</i> (контролни/ризосферни) на различитим стаништима
<b>Табела 69.</b>	Утицај станишта и типа биљног материјала (лист/стеља) на варијабилност инхибиције раста коренка <i>T. pratense</i> у биотестовима код <i>A. fruticosa</i>
<b>Табела 70.</b>	Инхибиција раста коренка <i>T. pratense</i> у биотестовима са биљним материјалом <i>A. fruticosa</i> (лист/стеља) на испитиваним стаништима
<b>Табела 71.</b>	Утицај станишта и врсте биљке на варијабилност инхибиције раста коренка <i>T. pratense</i> код ризосферног супстрата испитиваних биљних врста
<b>Табела 72.</b>	Упоредна анализа инхибиције раста коренка <i>T. pratense</i> код ризосферног супстрата испитиваних врста биљака на различитим стаништима
<b>Табела 73.</b>	Утицај станишта и врсте биљке на варијабилност инхибиције раста коренка <i>T. pratense</i> код листова и стеље испитиваних биљних врста
<b>Табела 74.</b>	Упоредна анализа инхибиције раста коренка <i>T. pratense</i> код листова и стеље испитиваних врста биљака на различитим стаништима

---



## Листа скраћеница

- 3,5-DHBA** – 3,5-дихидроксибензојева киселина  
**3-HBA** – 3-хидроксибензојева киселина  
**AAS** – атомска апсорпциона спектрофотометрија (енг. Atomic Absorption Spectrophotometry)  
**ANOVA** – анализа варијанси (енг. Analysis of Variance)  
**C** – угљеник  
**C/N** – однос угљеника и азота  
**Cr** – хром  
**Cu** – бакар  
**F** – вредност F расподеле (енг. Value on the F distribution)  
**Fe** – гвожђе  
**FerA** – ферулинска киселина  
**HPLC** – течна хроматографија високих перформанси (енг. High Performance Liquid Chromatography)  
**IR %** – инхибиција раста коренка (%) (енг. Radicle growth inhibition)  
**K<sub>2</sub>O** – доступни облици калијума у земљишту  
**Mn** – манган  
**N** – азот  
**ND** – није детектовано (енг. Not Detected)  
**Ni** – никл  
**ns** – није статистички значајно (енг. Not significant)  
**p** – вредност вероватноће (енг. Probability value)  
**P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>** – доступни облици фосфора у земљишту  
**PCA** – анализа главних компоненти (енг. Principal Component Analysis)  
**pCA** – *p*-кумаринска киселина  
**pH (H<sub>2</sub>O)** – активна киселост земљишног раствора  
**pH (KCl)** – супституциона киселост земљишног раствора  
**r** – коефицијент корелације (енг. Pearson's correlation coefficient)  
**Ru** – рутин  
**SD** – стандардна девијација (енг. Standard Deviation)  
**Zn** – цинк  
**M** – средња вредност (енг. Mean)  
**ТЕНТ-А** – Термоелектрана Никола Тесла А

# **1. Увод**



## 1.1. Алелопатија

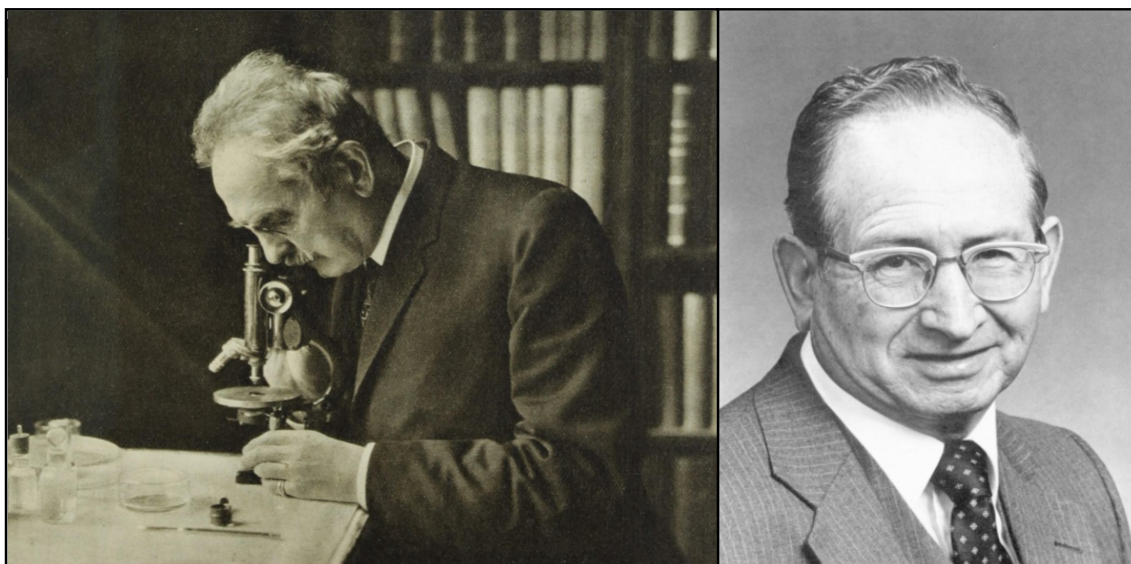
### 1.1.1. Алелопатија и алелохемикалије – појам, дефиниција и класификација

Интеракције између биљних врста у природним и антропогено измењеним екосистемима су комплексне и разноврсне. Разумевање ових односа и веза од кључне је важности за решавање различитих теоријских и практичних питања и проблема у екологији и еволуционој биологији. У биљним заједницама се интеракције између врста одвијају директно и индиректно путем различитих механизма. Биљке су у сталним односима компетиције за ресурсе животне средине, као што су вода, минералне материје, сунчева светлост и опрашивачи. Такође, једне биљне врсте могу имати и индиректан утицај на друге биљне врсте кроз удомљавање патогена или биљоједа (Sandfaer, 1970). Биљоједи могу да индукују синтезу и ослобађање испарљивих једињења, која потенцијално могу бити детектована код других биљака у заједници и резултовати у повећаној синтези одбрамбених хемијских једињења (Baldwin & Schultz, 1983). Индиректан утицај једних биљних врста на друге се одвија и кроз модификовање физичких, хемијских и биолошких карактеристика земљишта (Inderjit & Mallik, 1997; Jain & Singh, 1998). Постоје докази да се индиректне интеракције између биљака одвијају посредством земљишних микроорганизама, што доприноси коадаптацијама различитих биљних врста на променљиве услове средине на стаништима (Chanway *et al.*, 1990; Thorpe *et al.*, 2011). Поред наведених механизма, у биљном организму се синтетишу и у животну средину ослобађају хемијска једињења, која инхибирају или стимулишу клијање и раст других биљака, или индиректно утичу на њихов раст кроз инхибицију микоризе или симбиозе са азотофиксирајућим бактеријама. Овај процес, где биљке интерагују посредовањем хемијских једињења, назива се алелопатија (Muller, 1969; Rice, 1984; Đurđević, 2010, 2011, 2012).

Термин алелопатија дефинисан је као штетан утицај једне биљне врсте на другу кроз дејство излучених хемијских супстанци (Molisch, 1937; Wilson & Rice, 1968) (Слика 1). Реч алелопатија води порекло од грчке речи алело (грч. ἀλλήλο – међусобно) и патхос (грч. παθός – осећај, патња), па се ова појава често поистовећује само са негативним ефектима једне биљне врсте на друге, иако је Molisch (1937) поред инхибиторних ефеката под алелопатијом подразумевао и стимулаторне ефекте једне биљке на другу (Willis, 2007). Rice (1984) дефинише алелопатију као „сваки директни или индиректни штетан или користан ефекат једне биљне врсте (укључујући и микроорганизме) на другу биљну врсту, кроз синтезу и излучивање хемијских супстанци у животну средину“. Иако се истраживања на пољу алелопатије у последње две деценије ослањају на ову дефиницију, у многим научним радовима у овој области алелопатија се и даље најчешће дефинише кроз инхибицију раста других биљних врста. Такође, аутори Wardle *et al.* (1998) указују да хемијска једињења једне биљне врсте не остварују само утицај на друге биљне врсте у заједници, већ да имају утицај на функционисање екосистема, нарочито оних у којима долази до сталног ремећења равнотеже и који су под антропогеним утицајем. Алелопатија је дефинисана 1996. године и од стране Међународне асоцијације за алелопатију (The International Allelopathy Society): "Алелопатија је процес који укључује секундарне метаболите произведене од стране биљака, микроорганизама и гљива, који утичу на раст и развој биолошких и пољопривредних система, са позитивним и негативним ефектима".

Алелохемикалије представљају секундарне биљне метаболите, који имају алелопатски утицај на друге организме и присутне су у скоро свим биљним органима –

највише их има у листовима, плодовима, семенима, цветовима, кореновима, ризомима и стаблу (Kruse *et al.*, 2000). Утицаји алелохемикалија могу бити директни, када су присутне у ексудатима коренова и инхибирају клијање семена и раст клијанаца, или индиректне, када утичу на земљишне организме и хемијске карактеристике земљишта (Levine *et al.*, 2004; Kimura *et al.*, 2015). Алелохемикалије кроз утицај на раст биљака у заједници представљају један од кључних фактора у регулацији структуре фитоценоза (Smith & Martin, 1994). Механизми алелопатских узајамних деловања између биљака су многобројни и нису сви познати. Важно је нагласити да је заједничко за све механизме следеће: 1) издвајање у спољну средину физиолошки активних материја или једињења из којих таква могу настати; 2) задржавање активних материја у животној средини, пре свега у земљишту.



Слика 1. Hans Molisch и Elroy Rice – зачетници модерних алелопатских истраживања

Постоји више типова активности алелопатских супстанци на физиолошке процесе биљака, као што су: 1) утицај алелопатских једињења на деобу, издуживање и ултраструктуру ћелија, 2) утицај инхибитора раста на хормонски индукован раст, 3) утицај на пропустљивост ћелијске мембране, 4) утицај на усвајање минерала, 5) утицај на процес фотосинтезе, 6) утицај на процес респирације, 7) утицај на водни баланс, 8) утицај на синтезу протеина, метаболизам липида и органских киселина и 9) утицај на инхибицију/стимулацију активности специфичних ензима, 10) утицај на синтезу ДНК и РНК (Rice, 1984; Inderjit & Duke, 2003; Belz & Hurle, 2004). Алелохемикалије делују на велики број физиолошких процеса и тешко је одвојити примарне од секундарних ефеката. Сасвим је могуће да алелохемикалије продукују више од једног типа ефекта на процесе у ћелији одговорне за смањен раст биљака, али тачни механизми активности алелохемикалија још увек нису у потпуности утврђени (Zhou & Yu, 2006; Chou, 2006).

До сада су истраживане различите групе органских једињења и њихова алелопатска активност. Хемијска природа физиолошки активних супстанци, које учествују у хемијским узајамним деловањима биљака, још није у потпуности позната. Највише истраживане алелохемикалије су из групе алкалоида (Tharayil *et al.*, 2009; Vouhaouel *et al.*, 2018), аминокиселина (Sugiura & Nomoto, 1984), бензохинона (Czarnota *et al.*, 2003), бензоквазиноида (Belz & Hurle, 2005), кумарина (Peters & Long, 1988; Yu *et al.*, 2003), дитерпена (Qin *et al.*, 2006; Kato-Noguchi *et al.*, 2010), флавоноида (Czarnota *et al.*, 2003; Belz & Hurle, 2005, Qin *et al.*, 2006; Kato-Noguchi *et al.*, 2010; Técher *et al.*,

2011; Makarova *et al.*, 2016), деривата хидроксицинамичне киселине и простих фенола (Pérez & Ormeño-Nuñez, 1991; Liu *et al.*, 2013), нафтохинона (Bertin *et al.*, 2003), лигнана (Caligiani *et al.*, 2013), квазиноида (Heisey, 1996), сесквитерпенских лактона (Raupp & Spring, 2013), стерола (Kelsey & Locken, 1987) и танина (Yu *et al.*, 2003; Kalinova *et al.*, 2007; Técher *et al.*, 2011).

### 1.1.2. Фенолна једињења као алелохемикалије

Секундарни метаболити, продукти секундарног метаболизма биљака, нису неопходни за одржавање примарног метаболизма биљке, већ је њихова функција првенствено еколошка и везана је за адаптацију на абиотичке и биотичке факторе животне средине (Bennett & Wallsgrove, 1994). Такође, ова једињења имају битну улогу у расту (сигнална функција, заштита од УВ зрачења и др.) и размножавању биљака (опрашивање, расејавање плодова), као и у сложеним односима у оквиру биљних заједница (компетиција, паразитизам, алелопатија и др.) (Harborne, 1993). Многобројни фактори спољашње средине представљају својеврсне „стрес сигнале“, односно могу да индукују синтезу појединих секундарних метаболита. Бројна истраживања специфичних одговора на поједине факторе спољашње средине су показала да су секундарни метаболити значајни и као индикатори различитих врста стреса (Akula & Ravishankar, 2011; Lankadurai *et al.*, 2013). Секундарни метаболити биљака су према хемијском саставу подељени на две групе (Mazid *et al.*, 2011). Првој групи припадају молекули који не садрже атоме азота, и то су фенолна једињења (Quideau *et al.*, 2011) и терпеноиди (Roberts, 2007). Другој групи припадају продукти секундарног метаболизма који садрже азот у својим молекулима и то су алкалоиди (Zeigler & Facchini, 2008).

Фенолна једињења представљају секундарне метаболите који у својим молекулима не садрже азот и обухватају разноврсне биомолекуле попут полифенолних киселина, флавоноида, кумарина, лигнана, танина и др. (Crozier *et al.*, 2006). То су супстанце које поседују ароматични прстен за који је везана једна или више хидроксилних група. Подела фенолних једињења на основу њиховог основног скелета обухвата следеће класе: C<sub>6</sub> (једноставни феноли, бензохинони), C<sub>6</sub>-C<sub>1</sub> (фенолне киселине), C<sub>6</sub>-C<sub>2</sub> (фенилсирћетне киселине), C<sub>6</sub>-C<sub>3</sub> (хидроксицинамичне киселине, кумарини, фенилпропани), C<sub>6</sub>-C<sub>4</sub> (нафтохинони), C<sub>6</sub>-C<sub>1</sub>-C<sub>6</sub> (ксантони), C<sub>6</sub>-C<sub>2</sub>-C<sub>6</sub> (стилбени, антрахинони), C<sub>6</sub>-C<sub>3</sub>-C<sub>6</sub> (флавоноиди, изофлавоноиди, неофлавоноиди), (C<sub>6</sub>-C<sub>3</sub>-C<sub>6</sub>)<sub>2,3</sub> (би- и трифлавоноиди), (C<sub>6</sub>-C<sub>3</sub>)<sub>2</sub> (лигнани), (C<sub>6</sub>)<sub>n</sub> (катехол меланини) и (C<sub>6</sub>-C<sub>3</sub>-C<sub>6</sub>)<sub>n</sub> (кондензовани танини) (Lattanzio, 2013).

Фенолна једињења се синтетишу у хлоропластима и цитоплазми биљне ћелије (Kefeli & Kalefitch, 2002). Процењује се да се око 20% угљеника везаног у фотосинтези преусмерава у фенилпропанонидни биосинтетски пут (циклус шикимске киселине или ацетатномалонатни циклус) и да се на тај начин синтетише велика већина природних фенолних једињења (Ralston *et al.*, 2005). Биосинтеза и акумулација полифенолних једињења се контролише ендогено током раста биљке (Macheix, *et al.*, 1990), или се регулише екзогеним факторима, као што су светлост и температура (Dixon & Paiva, 1995). У биљкама се ова једињења налазе у слободном облику, односно у облику гликозида или у комплексима са другим молекулима (Hattenschwiler & Vitousek, 2000).

Фенолна једињења представљају важне секундарне метаболите који имају структурну улогу код биљака (изграђују ћелијски зид), делују као активни антиоксиданти и везују метале (Grace, 2005). Захваљујући изразитој антиоксидативној способности, ова једињења имају способност да директно везују слободне радикале кисеоника и азота (Kancheva, 2009), стварају комплексе (хелате) са металним јонима (Michalak, 2006), активирају антиоксидантне ензиме и инхибирају активност ензима

укључених у пероксидацији мембрана ћелија (Krylov & Dunford, 1996). Доказано је да се у условима стреса (прекомерно зрачење, инфекције) у биљкама индукује синтеза полифенолних једињења (Dixon & Paiva, 1995).

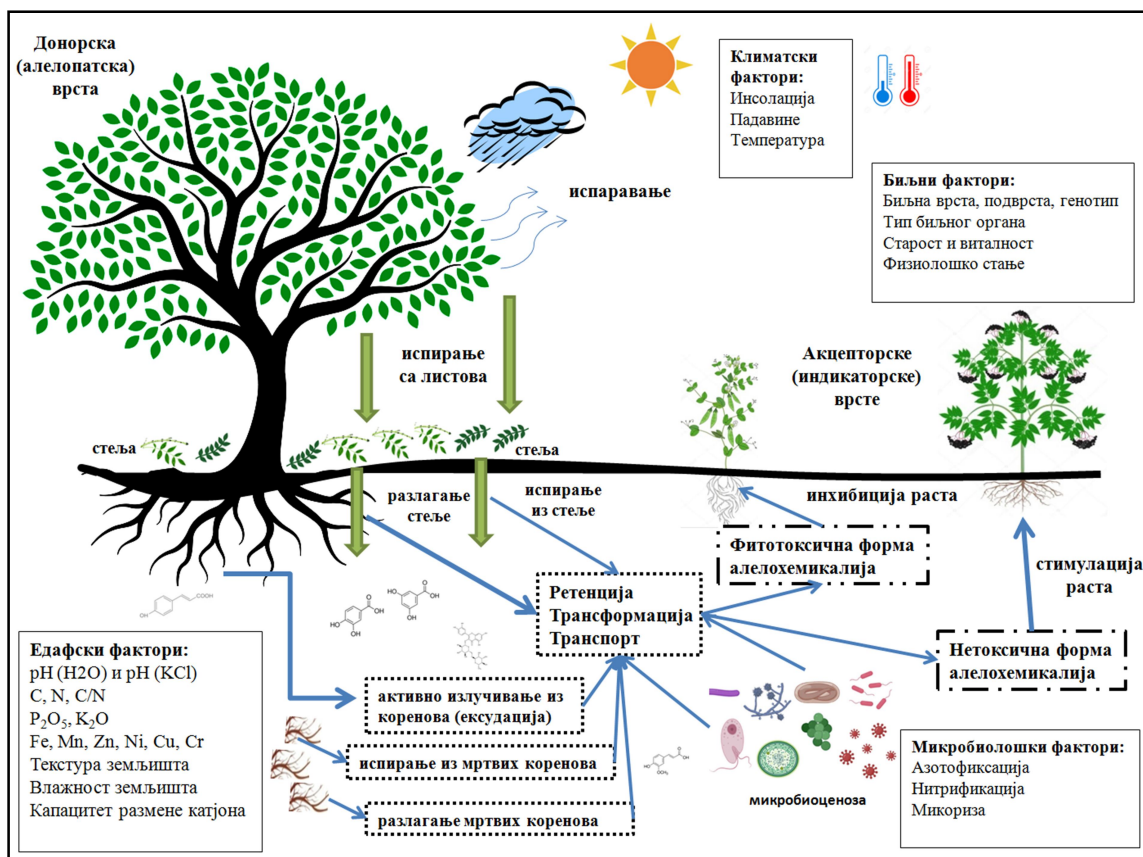
Фенолне киселине су широко распрострањени биљни метаболити који испољавају различите биолошке активности (Dai & Mumper, 2010). Синтеза фенолних киселина у биљкама се одвија као одговор на еколошке факторе стреса, као што су светлост, ниске/високе температуре, загађење, и у циљу обнављања оштећених делова биљног ткива (Kefeli *et al.*, 2003). Фенолне киселине које су заступљене у биљном свету се састоје од фенолног језгра и бочног низа који садржи један (дериват бензоеве киселине) или три (деривати циметне киселине) угљеникова атома. Фенолне киселине обухватају хидрокси и друге функционалне деривате бензоеве и циметне киселине.

Деривати хидроксибензоеве киселине настају хидроксилацијом или метилацијом ароматичног језгра, и најчешће се у биљкама јављају слободне или везане за ћелијски зид као *n*-хидроксибензојева, 3-хидроксибензојева, 3,5-дихидроксибензојева, ванилинска, сирингинска киселина, гална киселина и др. Деривати хидроксициметне киселине имају  $C_6-C_3$  структуру, и најзаступљенији су *n*-кумаринска, кафеинска, ферулинска и синапинска киселина. Деривати циметне киселине су знатно заступљенији од деривата бензојевог киселине. Деривати хидроксициметне киселине су ефикаснији антиоксиданти од деривата хидроксибензојевог киселине због присуства двоструке везе која учествује у стабилизацији насталог ароксил радикала резонанцијом (Pereira *et al.*, 2009).

Флавоноиди представљају најприсутнију групу природних полифенола (Cohen & Kennedy, 2010). Имају основну хемијску дифенилпропанску структуру ( $C_6-C_3-C_6$ ) која се темељи на флавоноидном језгру састављеном од три фенолна прстена (Harborne & Williams, 2000; Quideau *et al.*, 2011). Флавоноиди су подељени на више подгрупа: флавани, флаваноли, флаволи, дихидрофлаваноли, флаваноли, флаван-3-оли, флаван-4-оли, флаван-3,4-диоли, пелтогиноиди, дихидрохалкони, халкони, аурони и антоцијанини (Lattanzio, 2013). Флаваноли су најшире распрострањена група флавоноида (Beecher, 2003). Идентификован је и пописан велики број флавоноида биљног порекла са основном биолошком улогом пигмената (Tanaka *et al.*, 2008). Мали број флавоноида се у биљкама налази у слободном стању, углавном су у облику гликозида као што су хесперидин, нарингин, рутин, кверцетин и др., при чему је агликонски део флавоноидни молекул, а компоненте угљенохидрата су различите структуре, са највећим уделом глукозе и манозе (Cho *et al.*, 2004). Антиоксидативна улога флавоноида заснива се на способности неутрализације слободних радикала, при чему се спречава оштећење ћелија и омогућава прилагођавање биљака различитим условима средине. Ова антиоксидативна улога флавоноида у корелацији је са бројем и положајем хидроксилних група везаних за фенолни прстен (Stanković, 2012; Mierziak *et al.*, 2014). Еколошко-физиолошка функција флавоноида је регулаторна и сигнална у интеракцијама између биљака и микроорганизама, а такође имају важну улогу у одбрани као антимикуробни агенси и репеленти хербивора, као и у УВ заштити (Stafford, 1990).

За фенолна једињења се сматра да је то најбитнија група алелохемикалија у екосистемима умерене климе (Putnam & Duke, 1978; Inderjit, 1996; Ђурђевић *et al.*, 2012, 2013). То је једна од највише проучаваних група алелохемикалија, која је у биљном ткиву присутна у слободној форми, или везана за полисахариде ћелијског зида (Ђурђевић *et al.*, 2010, 2012). Фенолна једињења имају значајну улогу у екосистемима, јер утичу на динамику минералне и органске материје у земљишту кроз утицаје на хемијске карактеристике земљишта, доступност хемијских елемената и микробиоценозе (Inderjit, 1996; Ђурђевић *et al.*, 2011, 2013; Mitrović *et al.*, 2012).

Фенолна једињења доспевају у земљиште кроз испирање са површине биљног организма и стеље, затим испаравањем са површине биљног тела, разлагањем биљних остатака и активним излучивањем из коренова (Rice, 1974) (Слика 2).



Слика 2. Синтеза, ослобађање, кретање и дејство алохемикалија (фенолних једињења) у екосистему

Већина фенолних једињења је растворљива у води и испира се са површине надземног дела биљке и преноси у дубље слојеве земљишта уз помоћ кишнице (Chou & Leu, 1992). У земљишту ова једињења могу бити метаболисана или трансформисана од стране земљишних микроорганизама, или се везују за органску материју у земљишту (Reigosa *et al.*, 1999; Ђурђевић *et al.*, 2010). У земљишту представљају другу најраспрострањенију групу једињења (након целулозе) и појављују се у три различите форме: слободној, реверзибилно везаној и ирреверзибилно везаној форми (Mitrović *et al.*, 2012). Међутим, концентрација фенолних једињења у земљишту је доста нижа него у биљним организмима (Inderjit, 1996). Ова једињења имају кратак животног век и подложна су разлагању путем микроорганизама, те је њихова детекција и идентификација у земљишту много захтевнија него у биљним ткивима (Weig *et al.*, 2004).

Фенолна једињења представљају основну компоненту хумуса и одговорна су за велики део његових хемијских и биолошких карактеристика. Ова једињења утичу на динамику нутријената у земљишту кроз стварање комплекса са нутријентима. За формирање хумуса неопходна је оксидативна активација фенола, а фенолне киселине које нису везане у хумусу регулишу капацитет земљишта за размену катјона (Kuiters, 1990). Висок садржај фенолних једињења у земљишту може узроковати инхибицију клијања семена и раст биљака у заједници, остварујући на тај начин значајне ефекте на

структуру и састав биљних зајединца (Ђурђевић *et al.*, 2004, 2013; Wardle *et al.*, 1998). Фенолна једињења у земљишту могу довести до инхибиције раста коренка и хипокотила, ограничавања усвајања воде и минералних материја, инхибирања процеса фотосинтезе, као и активности ензима код акцепторске биљне врсте (Ђурђевић *et al.*, 2011, Pedrol *et al.*, 2006). Такође, полифенолне киселине могу да делују инхибиторно или стимулативно на клијање спора и раст сапрофитних и микоризних гљива. Поред тога утичу и на активност азотофиксирајућих бактерија и активност микрофауне земљишта, што може да има ефекте на динамику макро- и микронутријената, интеракцију између биљних врста и сукцесије биљних заједница (Kuiters, 1990; Souto *et al.*, 2000).

### 1.1.3. Хемијски елементи као алелохемикалије – елементална алелопатија

Највећи део пажње у алелопатским истраживањима усмерен је на изолацију, идентификацију и ефекте алелохемикалија органског порекла, а много мање студија је спроведено у области елементалне алелопатије – алелопатских ефеката хемијских елемената (Morris *et al.*, 2009). Ако биљна врста може да толерише повишене концентрације биодоступних хемијских елемената боље од суседне биљне врсте, то може да доведе до алелопатског ефекта. Неколико студија је потврдило да се хемијски елементи могу акумулирати у ризосфери до нивоа који могу утицати на суседне биљне врсте, без утицаја на биљку домаћина (Zhang *et al.*, 2005; Morris *et al.*, 2009). Различити аутори су се бавили потенцијалним алелопатским ефектима хемијских елемената попут Zn, Ni, S, Cl и Na (Boyd & Jaffre, 2001; Duda *et al.*, 2003, Zhang *et al.*, 2005, Morris *et al.*, 2009) и постоји још доста неистражених алелопатских ефеката других хемијских елемената и утицаја различитих биљних врста на њихов садржај у земљишту и стељи на различитим стаништима.

За сада је елементална алелопатија показана као успешан механизам код неколико инвазивних и коровских врста, као што су *Acroptilon repens* (L.) Hidalgo, *Tamarix* spp., *Halogeton glomeratus* (M. Bieb.) C.A. Mey., *Salsola tragus* L. и *Mesembryanthemum crystallinum* L. Обогаћивање ризосфере елементима пореклом из биљака се одвија кроз процесе као што су хиперакумулација, депозиција и разлагање стеље, као и хемијске промене ризосфере (Слика 3). До сада истраживани случајеви елементалне алелопатије укључују три типа елемената: тешке метале и растворљиве соли у терестричним екосистемима и елементарни сумпор у акватичним екосистемима (Morris *et al.*, 2009).

Главна потешкоћа у идентификацији алелопатског ефекта у теренским условима је изоловање специфичног једињења које доводи до алелопатског ефекта (Inderjit & del Moral, 1997; Inderjit & Nilsen, 2003). Проблем је додатно појачан због комплексне интеракције која се често јавља између акумулираних хемијских елемената, алелохемикалија у биљном ткиву, биотичких и абиотичких фактора (Inderjit *et al.*, 2011). Да би алелопатија утицала на биљке компетиторе, акумулиране хемикалије у једној биљној врсти морају да ремете клијање и раст друге биљке (Boyd & Jaffrè, 2001; Del Fabbro *et al.*, 2014). Ако је хемијски елемент есенцијални нутријент, или ако биљка има високу толеранцију према елементу, компетитивна предност на основу алелопатије је у том случају ограничена, па су докази за елементалну алелопатију у природи ретки и потребна су додатна истраживања (Morris *et al.*, 2009; Pilon-Smits & Quinn, 2010; Jaffe, 2015).





Слика 3. Елементална алопатија у систему биљка – земљиште (модификовано према Morris *et al.*, 2009)

#### 1.1.4. Индиректна алопатија – алолохемикалије и земљиште

Inderjit & Weiner (2001) указују да је могуће раздвојити директну алопатију, као однос биљка – биљка (алопатија у ужем смислу) и индиректну алопатију (алопатија у ширем смислу). Први феномен подразумева директну активност алолохемикалије која је синтетисана и ослобођена од стране донорске врсте у животну средину и делује на акцепторску врсту; други феномен представља ефекте алолохемикалија на абиотичке и биотичке процесе у земљишту који имају утицај на друге биљне врсте (Scavo *et al.*, 2019). Aldrich (1984) описује ова два типа алопатије као „праву алопатију“ и „функционалну алопатију“. Алолохемикалије ослобођене у земљиште могу: 1) директно утицати на циљне организме, 2) бити разграђене или трансформисане од стране земљишних микроорганизама, 3) утицати на трећу врсту да продукује нову супстанцу која има интеракцију са донорском врстом и 4) да индукују промене у педосфери које утичу на акцепторску биљку (Scavo *et al.*, 2019).

Већина алопатских студија је фокусирана на детектовање алопатске активности у условима *in vitro* и идентификацију потенцијалних алолохемикалија. Ипак, тешко је раздвојити директну од индиректне алопатије у природним условима и тврдити да је директна алопатија одвојено одговорна за посматрани феномен у природи, јер постоје многи абиотски и биотски фактори који утичу на судбину алолохемикалија (Scavo *et al.*, 2019). Због тога су индиректне алопатске интеракције,

са еколошке тачке гледишта, важније од директних за биљне заједнице, те се оне требају истраживати у оквиру хемијске екологије биљака (Inderjit & Weiner, 2001).

Остваривање алелопатског ефекта зависи од више фактора, као што су концентрација алелохемикалија, кретање кроз животну средину и постојаност. Алелохемикалије се трансформишу дејством хемијских, физичких и биолошких карактеристика земљишта и то има велики утицај на њихову фитотоксичност (Cheng, 1992; Blum, 2006). Донорска врста ослобађа алелохемикалије у животну средину кроз испаравање са живих биљних делова, испирањем са листова, разлагањем биљног материјала и излучивањем (ексудацијом) коренова (Scavo *et al.*, 2018). Осим испаравања, остали процеси након ослобађања алелохемикалија се даље одвијају у земљишту. Када се једном ослободи, алелохемикалија улази у комплексни систем биљка – земљиште, у коме делују различити фактори који утичу на њихову доступност, и имају утицај на циљне (акцепторске) врсте (Blum *et al.*, 1999; Kruse *et al.*, 2000).

Фитотоксичност алелохемикалија у земљишту је под утицајем климатских услова (сунчевог зрачења, температуре и падавина), едафских фактора (текстуре земљишта, рН, капацитета размене катјона, садржаја органске материје, динамике нутријената, влажности земљишта и микробиоценозе), као и фактора донорске и акцепторске врсте (врста биљке, варијетет, стадијум раста и биљни делови) (Rice, 1984; Scavo *et al.*, 2018, 2019). Како би алелохемикалије биле апсорбоване од стране коренова акцепторских врста биљака, морају бити присутне у земљишном раствору (Kobayashi, 2004). Зато је кључни фактор који детерминише фитотоксичну активност алелохемикалије њихова концентрација у земљишној води.

У земљишту, алелохемикалије подлежу процесима задржавања, трансформације и транспорта (Cheng, 1992; Weidenhamer, 1996). Задржавање (адсорпција или сорпција) је физички процес који се састоји од интеракција алелохемикалија и честица земљишта (глине, оксиди Fe, Al и Mn, органска материја), воде или ваздуха (Bezuidenhout & Laing, 2006; Cheng & Koskinen, 2010). У многим случајевима, то је динамичан и реверзибилан процес који показује да су алелохемикалије мобилне у земљишту. Трансформација је биохемијски процес, који може да буде позитиван или негативан, а најчешће је под утицајем земљишних микроорганизама, и укључује конверзију алелохемикалија у више активна, мање активна или тотално неактивна једињења (Scavo *et al.*, 2019). Овај процес води ка смањењу количине доступних алелохемикалија у земљишту (Cheng, 1992). Транспорт је процес који представља кретање алелохемикалија у земљишту и налази се под јаким утицајем процеса сорпције и трансформације. Интеракција између ових процеса је под утицајем хемијске природе алелопатске супстанце, организама који су укључени у интеракције, карактеристика земљишта и општих еколошких услова на станишту (Scavo *et al.*, 2019).

Поред директног ослобађања из биљака, алелохемикалије могу да уђу у земљиште и кроз ексудацију од стране фауне и микроорганизама (живих микроорганизама и разложене биомасе микроорганизама), разлагања органске материје и распадања минерала. Алелохемикалије се константно уклањају или су имобилизоване из земљишног раствора процесом испирања, микробном разградњом, адсорпцијом за честице земљишта и усвајањем од стране биљака (Inderjit *et al.*, 2001; Weidenhamer, 1996). Понашање алелохемикалија је доста комплексније у односу на хербициде, јер се алелохемикалије континуирано ослобађају из донорске биљке са значајним разликама везаним за биљне органе из којих се ослобађају (Abu-Romman, 2016; Suksungworn *et al.*, 2016), као и фазе раста (Aslam *et al.*, 2017). Знање о динамици алелохемикалија у земљишту је важан аспект бољег разумевања интеракција између биљака, микроорганизама и инсеката, као и потенцијалне примене биохербицида на бази алелохемикалија.

## 1.2. Инвазивне врсте биљака

### 1.2.1. Појам и дефиниција инвазивних врста

Биодиверзитет је у 21. веку угроженији више него икада у људској историји. Главни фактор смањења разноврсности живог света је уништавање станишта, док су инвазивне врсте препознате као друга највећа претња биодиверзитету (Elton, 1958; Mooney & Cleland, 2001; Gaertner *et al.*, 2009). Поред утицаја на биодиверзитет и екосистеме, инвазивне врсте биљака остварују значајне ефекте на привреду и економију, како на локалном, тако и на глобалном нивоу (Pimentel *et al.*, 2005). Такође, инвазивне врсте ће реаговати и на климатске промене, са еколошким и економским последицама (Hellmann *et al.*, 2008).

Са повећаном глобализацијом, хиљаде биљних врста је интродуковано из њиховог аутоктоног ареала у нова подручја. Иако се већина ових алохтоних врста може наћи само у култивацији, преко 13.000 страних врста широм света је формирало стабилне и отпорне популације – то су натурализоване врсте (van Kleunen *et al.*, 2015). Неке од ових натурализованих врста биљака се сматрају инвазивним, јер се брзо шире и имају негативне еколошке и социоекономске ефекте (Richardson *et al.*, 2000; Vilà *et al.*, 2011; Schaffner *et al.*, 2020). Из тих разлога је постало важно препознати и описати механизме који су кључни у процесу натурализације биљних врста и њихове инвазивности (van Kleunen *et al.*, 2018). Како би се избегла двосмисленост у научним радовима који се тичу тематике инвазивних врста, Richardson *et al.* (2000) препоручују коришћење термина „инвазивне врсте“ онда када се описују „натурализоване биљне врсте које стварају репродуктивно-плодно потомство, често у веома великом броју, на значајној удаљености од родитељске биљке, чиме имају потенцијал за ширење на великим подручјима“. Hulme *et al.* (2013) приликом дефинисања инвазивних врста узимају у обзир и аспект утицаја ових врста, дефинишући термином инвазиван „стране врсте са успостављеним популацијама које брзо шире своје подручје распрострањења у нове области, често изазивајући значајне последице по биодиверзитет, функционисање екосистема, социо-економске вредности и/или здравље људи у областима које су изложене инвазији“. Müller & Sukopp (2016) натурализоване стране врсте сматрају инвазивним онда када имају штетне последице по аутохтони биодиверзитет.

Међународна унија за заштиту природе IUCN (1999) дефинише инвазивне врсте као стране биљне врсте које су интродуковане у природне или полуприродне екосистеме и које утичу на флористички диверзитет и узрокују промене на тим стаништима. Конвенција о биолошкој разноликости CBD (1992) дефинише инвазивне врсте као алохтоне врсте чија интродукција и/или ширење утичу на биодиверзитет.

Постоје три механизма посредством којих алохтоне врсте могу доспети у нову област: 1) увозом добара, 2) посредством вектора транспорта и 3) природним ширењем из оближњих области, где је дата врста такође страна. Један део биљних врста је интродукован у сврхе исхране људи и животиња, биомедицинске сврхе, као и из естетских разлога и потреба управљања деградираним екосистемима (Keller *et al.*, 2007). Међутим, велики број других алохтоних врста је интродукован случајно, трговином и транспортом робе, семена, домаћих животиња и хране за домаће животиње (Lehan *et al.*, 2013). Страна врста се након интродукције даље може ширити процесом природне дисперзије, при чему постоје процене да је стопа таквог ширења у терестричним екосистемима 89 km годишње (Hulme *et al.*, 2008). Услед сталног повећања броја становника и стопе интродукције нових врста изван њиховог изворног ареала дошло је до повећања свести о значају овог проблема (Colautti & MacIsaac, 2004;

Pyšek *et al.*, 2009; Đurđević *et al.*, 2012, 2013; Simberloff, 2013; Hulme *et al.*, 2013; Seebens *et al.*, 2017; Radovanović *et al.*, 2017).

Већина алохтоних биљних врста које постану натурализоване, имају ограничене способности распрострањења и даљег ширења, те немају инвазивни карактер. Али, један део тих биљака, који пробије те баријере, постаје инвазивно и представља претњу аутохтоним биљним врстама и заједницама (Genovesi & Shine, 2004). Од приближно сваких 100 врста које се унесу на неко подручје, око 10 врста има успешну натурализацију, док око 10% натурализованих биљних врста постаје инвазивно (Williamson & Fitter, 1996). Према Pimentel *et al.* (2008) више од 30.000 биљних врста је интродуковано изван подручја свог природног ареала. Процењује се да је 3,9% свих данас познатих васкуларних врста биљака натурализовано изван свог изворног ареала (van Kleunen *et al.*, 2015). Pyšek *et al.* (2009) наводе да је према подацима DAISIE базе података на територији Европе присутно 5789 алохтоних биљних врста, од којих су 2843 биљне врсте стране за целокупно подручје Европе, односно воде порекло са неког другог континента. Од тог укупног броја неколико десетина врста је постало инвазивно (Bottollier-Curtet *et al.*, 2013).

### 1.2.3. Карактеристике инвазивних врста биљака

Један од главних задатака инвазионе екологије врста је утврђивање карактеристика које највише доприносе инвазивности неке врсте, тј. њеном успеху у освајању и доминацији на одређеном простору (Richardson *et al.*, 2006). Успех неке инвазивне врсте зависи у највећој мери од три групе фактора: 1) карактеристика интродуковане врсте (генетски детерминисана инвазивност), 2) количине семена (пропагуле) на одређеном простору и времену, као и 3) карактеристика станишта која одређена врста насељава (сензитивност – инвазибилност станишта) (Lonsdale, 1999).

Поред бројних истраживања механизма адаптације инвазивних биљних врста, веома је тешко утврдити које особине највише доприносе њиховој инвазивности, али се првенствено сматра да је то брзо ширење у подручју интродуције и велики изворни ареал (Rejmánek, 1996; Williamson & Fitter, 1996; Dukes & Mooney, 1999). Различите студије су показале да многе инвазивне биљне врсте имају јаче компетитивне ефекте, или су више толерантне на конкуренцију од многих аутохтоних биљних врста (Kuebbing & Nuñez, 2016; Zhang & van Kleunen, 2019). Висока компетитивност инвазивних врста може бити узрокована поседовањем одређених карактеристика, као што су специфична површина листа и добро развијен коренов систем (Richardson & Pyšek, 2007; van Kleunen *et al.*, 2010; Lachaise *et al.*, 2020), које доприносе интензивнијој стопи раста услед ефикасног усвајања доступних нутријената (Zhang & van Kleunen, 2019).

На различитим типовима станишта се фаворизују различите особине које доприносе инвазивности биљних врста, па је често једноставније утврдити разлике у осетљивости (инвазибилности) одређених типова станишта него дефинисати карактеристике биљака које доприносе њиховој инвазивности (Kitayama & Mueller-Dumbois, 1995; Alpert *et al.*, 2000). Генерално, карактеристике инвазивних биљних врста, по којима се разликују од аутохтоних врста на одређеном станишту, укључују бржи и ефикаснији раст, већу биопродуктивност и стопу фотосинтезе, већу концентрацију нутријената у биљним ткивима, као и већу количину биљних остатака (Ehrenfeld, 2003; Allison & Vitousek, 2004). Такође, сматра се да већа фенотипска пластичност доприноси инвазивности биљних врста, јер им омогућава адаптацију на различите типове станишта (Richardson & Pyšek, 2007; Theoharides & Dukes, 2007; Saño *et al.*, 2008).

Највећи утицај на степен инвазивности неке биљне врсте имају карактеристике репродукције, нарочито оне које се односе на стварање семена и њихово расејавање (Moravcova *et al.*, 2010). Инвазивне врсте стварају семена која су обично ситна, мале тежине и већег степена заобљености, што доприноси њиховом лакшем расејавању ветром и водом (Lake & Leishman, 2004; Moravcova *et al.*, 2010). Такође, семена ових врста остају дуже у земљишту и стварају трајне резерве семена, што доприноси формирању стабилних популација на новим стаништима (Daehler, 2003; Blagojević *et al.*, 2015). Поред значаја карактеристика генеративног размножавања у инвазивности биљних врста, важно је напоменути да биљке које се размножавају и вегетативним путем поседују већи инвазивни потенцијал од врста које имају само полно размножавање. Клонски раст омогућава овим биљкама да за кратак временски период заузму релативно велики простор на новом станишту (Prach & Pyšek, 1994; Kolar & Lodge, 2001).

#### **1.2.4. Карактеристике станишта подложних инвазији биљних врста**

У процесу предвиђања потенцијалног нивоа инвазија биљних врста један од најбољих показатеља је тип станишта из којег врста потиче (Chytry *et al.*, 2009). Најзначајнији „извор“ инвазивних биљних врста на глобалном нивоу представљају шумска, приобална и травна станишта и станишта под снажним антропогеним утицајем (Hejda *et al.*, 2015). У ареалу интродукције, највећим уделом страних врста одликују се антропогена, приобална и литорална станишта (Chytry *et al.*, 2008). Супротно томе, релативно мали број инвазивних врста биљака је везан за сува, заслањена или водена станишта у оквиру свог изворног ареала (Hejda *et al.*, 2015). На исти начин, малим уделом алохтоне флоре одликују се мочварна станишта, медитерански типови вегетације, као и неке травне и жбунасте заједнице (Chytry *et al.*, 2008).

Подложност одређеног типа станишта на нове биљне врсте, њихову натурализацију и инвазију представља инвазибилност станишта (Lonsdale, 1999). Савремене теорије о биљним заједницама указују да механизми инвазибилности станишта зависе од њеног диверзитета биљне заједнице, животног циклуса биљне врсте која се уселјава на то ново станиште, као и стабилности екосистема (Tilman, 1997) (Слика 4). Фактори који доприносе инвазибилности станишта су измењен режим ремећења равнотеже у екосистему, стресни услови, висока доступност нутријената у станишту и низак интензитет конкуренције између биљних врста (Alpert *et al.*, 2000). Иако инвазивне биљне врсте генерално представљају слабије конкуриторе у односу на аутохтоне у својим природним стаништима, у условима деградације ових станишта могу да постану доминантне у екосистему (Jarić, 2009).

Станишта која су слабо инвазибилна, тј. показују тенденцију да имају мало алохтоних биљних врста, су старе и густе шуме (Brothers & Spingarn, 1992; Binggeli, 1996), сува станишта и одређена полусува станишта (Rejmánek, 1989; Fleischmann, 1997), слане мочваре и високопланинске заједнице (Baker, 1986), пешчана и серпентинска станишта (Huenneke *et al.*, 1990; Greenberg *et al.*, 1997). Са друге стране, приобална станишта су високо инвазибилна, јер речни токови олакшавају расејавање и ширење алохтоних врста (Pyšek & Prach, 1993; DeFerrari & Naiman, 1994; PlantyTabacchi *et al.*, 1996; Fleischmann, 1997).

Алохтоне врсте имају највећу шансу да постану инвазивне у регионима који су климатски слични клими њиховог изворног ареала (Cronk & Fuller, 1995). На подручју централне Европе највећи број алохтоних инвазивних врста карактеристичан је за низијске и брдске пределе, док области високих планина одликује знатно мањи број

инвазивних врста (Chytry *et al.*, 2008). На подручју централне Европе, највећи број алохтоних биљних врста води порекло из листопадних шума источних крајева Северне Америке и Азије, па у оквиру ареала интродукције ове биљке преферирају мезофилна и хигрофилна станишта (Chytry *et al.*, 2008). Може се извести закључак да инвазивне биљне врсте најчешће воде порекло из појединих типова станишта, не као последица одређених адаптација које би им пружиле конкуритивну предност над аутохтоним врстама у таквим типовима станишта, већ услед чињенице да њихова природна станишта заузимају највеће површине у простору. Услед веће површине, оваква станишта имају више биљних врста и самим тим имају највећи потенцијал да представљају „извор“ већег броја инвазивних врста (Hejda *et al.*, 2015). Essl *et al.* (2009) у својим истраживањима указују на то да биљне врсте у процесу биолошке инвазије шире своју природну еколошку нишу, јер улазе у друге типове станишта, различите од оних које насељавају у изворном ареалу.



Слика 4. Фактори који детерминишу инвазивност биљних врста и инвазибилност станишта (модификовано према Catford *et al.*, 2009)

Различите антропогене активности представљају значајан фактор у интродукцији и ширењу страних биљних врста, као и у формирању подручја подложних насељавању страних врста (Hulme, 2006; Chytry *et al.*, 2008; Hufbauer *et al.*, 2012), те је проценат инвазивних врста биљака на антропогено измењеним стаништима јако висок (Chytry *et al.*, 2008; Chytry *et al.*, 2009; Ryšek *et al.*, 2010). Hufbauer *et al.* (2012) постулирају нову хипотезу о механизмима који доприносе процесу биолошке инвазије – антропогено изазвана адаптација за инвазију (енг. Anthropogenically Induced Adaptation to Invade). Ова хипотеза претпоставља да је висок проценат алохтоних врста на антропогеним типовима станишта узрокован адаптацијом ових врста на таква станишта у оквиру свог изворног ареала, што доводи до повећања њихове бројности у овим зонама, па се услед близине транспортних мрежа прогресивно повећава вероватноћа да ће доћи до њиховог ширења на нова подручја.

Измењени режими ремећења равнотеже су срединске флукуације и деструктивни догађаји који мењају функционисање екосистема и доступност ресурса, али и утичу на структуру биљних популација у зајединцама (White & Jentsch, 2001). Постоје бројни докази који указују да повећана доступност нутријената повећава инвазибилност станишта, јер висок ниво нутријената може да преокрене састав врста у

мањи број брзорастућих врста које постају доминантне (Huenneke *et al.*, 1990; Bakker & Berendse, 1999; Maron & Jefferies, 1999). Међутим, суша као стресни фактор може да ограничи инвазибилност станишта, јер су сувљи делови неких типова станишта са доста мање инвазивних врста у односу на влажнија места у оквиру истог станишта (Baruch & Fernandez, 1993; Sheley *et al.*, 1997). Такође, на неким серпентинским и пустињским стаништима је релативна бројност алохтоних врста већа у влажнијим годинама у односу на сушне године (Dukes & Mooney, 1999). На оваквим типовима станишта, наводњавање земљишта може допринети повећању инвазибилности (Milchunas & Lauenroth, 1995). Урбанизација има сличан значај за процесе инвазије алохтоних врста, као и пољопривреда. Сматра се да се диверзитет алохтоних врста повећава са нивоом урбанизације и у корелацији је са густином људске популације (Kennard *et al.*, 2002).

### 1.2.5. Утицај инвазивних биљних врста на екосистеме

Алохтоне биљне врсте могу имати бројне негативне последице на структуру, функцију и динамику екосистема у којима се јављају као инвазивне (Vila *et al.*, 2011; Loiola *et al.*, 2018). Ове врсте могу утицати на промене кључних процеса у екосистему, попут разлагања и кружења нутријената, чиме се суштински мења начин функционисања одређених екосистема (Liao *et al.*, 2008). Нарушаваће и ремећење равнотеже у станишту доприноси инвазији алохтоних врста и тај утицај је израженији ван изворног ареала (Hierro *et al.*, 2003).

Инвазивне биљне врсте имају способност трансформације особина земљишта у циљу подстицања свог раста и развоја, јер се у њима синтетишу и ослобађају алелохемикалије које утичу на хемијске карактеристике земљишта (Callaway & Ridenour, 2004). Ове врсте утичу на кружење нутријената, њихову доступност, усвајање, као и на педобионте – бактерије и гљиве у земљишту (Belnap & Phillips, 2001; Ehrenfeld, 2003; Zhang *et al.*, 2019).

У већини случајева, инвазивне биљке имају негативан утицај на аутохтоне врсте, што постепено доводи до смањења њихове бројности и разноврсности (Пуšek *et al.*, 2012). Оне индиректно остварују значајне ефекте на физиолошке процесе код аутохтоних биљних врста, структуру и динамику њихових популација, као и на продуктивност заједница и укупну покривност вегетације (Wardle *et al.*, 1998; Пуšek *et al.*, 2012; Bialic-Murphy *et al.*, 2019). Утицај инвазивних врста може се огледати и кроз смањење генетичке варијабилности аутохтоних биљних врста услед хибридизације и интензивнијег ширења патогена и паразита (Ledger *et al.*, 2015). Инвазија терестричних екосистема од стране алохтоних биљних врста представља глобални проблем услед способности неких биљних врста да потисну ендемичне врсте, са пратећим утицајима на биљне заједнице и велики број организама чији опстанак зависи од аутохтоних врста биљака (Vitousek, 1990).

Постоје разлике између инвазивних биљних врста на основу степена њиховог утицаја на екосистеме. Неке биљне врсте доводе до блажих и релативно краткотрајних промена, док дуге изазивају крупне и значајне промене које доводе до измене структуре и функционисања екосистема, те се такве врсте називају „трансформаторске врсте“ (Maurel *et al.*, 2010). Када је утицај инвазивне биљне врсте на динамику нутријената у земљишту велики, као и када су ефекти на трансформацију, проток енергије и биогеохемијске циклусе у екосистему јако изражени настају „нови екосистеми“ (Hobbs *et al.*, 2006). Микроклиматски услови и нови компетитивни односи у овим екосистемима утичу негативно на аутохтоне врсте биљака, што доводи до смањења

њихове бројности и разноврсности, али исто тако многе биљне врсте утичу на екосистеме на далеко мање уочљив начин (Lehan *et al.*, 2013).

Када је присутно више од једне инвазивне врсте у заједници, ефекат инвазије једне биљне врсте се додатно усложњава синергистичким ефектима. Повећање утицаја инвазивних врста на природне екосистеме, као резултат њихове синергистичке интеракције, означено као „инвазионо топљење“ (енг. *invasion meltdown*), значи да комбиновани ефекат две биљне врсте може бити јачи него ефекат обе врсте када би деловале одвојено (Simberloff, 2006).

Феномен биолошких инвазија и са економског становишта представља озбиљан проблем. То је пре свега изражено у пољопривреди (DiTomaso, 2000; Pimentel *et al.*, 2005), заштити животне средине и управљању природним ресурсима и добрима (Brown & Sax, 2004). С обзиром да су за активности контроле биолошких инвазија и регулисање њихових негативних последица неопходна значајна финансијска средства (van Wilgen *et al.*, 2001; Keller *et al.*, 2007), проблем инвазивних биљних врста укључује не само биолошка, већ и значајна социјална и етичка питања (Larson, 2007). Међутим, изучавање процеса и последица феномена биолошких инвазија може донети и значајна сазнања о еколошким и еволуционим процесима који стварају и одржавају биолошку разноврсност на глобалном нивоу, тако да ове студије поред практичног имају и велики теоријски значај (Brown & Sax, 2004).

### 1.2.6. Механизми инвазивности биљних врста – основне хипотезе

Инвазивност одређених биљних врста се у највећој мери заснива на механизмима који им омогућавају успех у конкуренцији са аутохтоним врстама за ресурсе животне средине (Keane & Crawley, 2002). Постоји више хипотеза о механизмима који доводе до инвазивности биљних врста, освајања нових станишта и доминације у биљним заједницама. Хипотеза „шире толеранције“ претпоставља да су инвазивне врсте биљака боље адаптиране на екстремне услове животне средине и да имају шире границе толеранције у односу на аутохтоне врсте, тако да оне врсте које имају већи ареал имају бољу предиспозицију да постану инвазивне (Zedler & Kercher, 2004; Goodwin *et al.*, 1999). Хипотеза „ефикасног коришћења ресурса“ предвиђа да инвазивне врсте биљака ефикасније искоришћавају светлост и доступне нутријенте у односу на аутохтоне врсте (Zedler & Kercher, 2004). Исто тако, хипотеза о „променљивим ресурсима“ претпоставља да алохтоне врсте биљака примарно насељавају станишта на којима има доста приступачних ресурса након што дође до ремећења равнотеже, попут пожара, поплава или сече шуме.

Једна од хипотеза која објашњава успех инвазивних биљних врста ван свог природног ареала је хипотеза „ослобађања од природних непријатеља“. Број врста које представљају природне непријатеље (хербиворе и патогене) у ареалу интродукције значајно је мањи у односу на изворни ареал, па је ширење врста доста лакше и ефикасније на новим подручјима (Keane & Crawley, 2002; Kellner *et al.*, 2011). Ово је нарочито повезано са одсуством хербивора специјалиста на новом станишту. Ослобађање од ових природних непријатеља може да води до еволуције повећане конкуритивне способности, која је покренута смањењем алокације ресурса у биљци и адаптације везане за одбрану од хербивора и патогена у делове биљног организма везане за продукцију семена и плодова (Callaway & Ridenour, 2004). Наведени механизми, или њихове комбинације, могу допринети разликама у утицају ових врста, које су евидентне при компарацији карактеристика биљака у оквиру њиховог изворног ареала и у подручју интродукције (Ledger *et al.*, 2015).



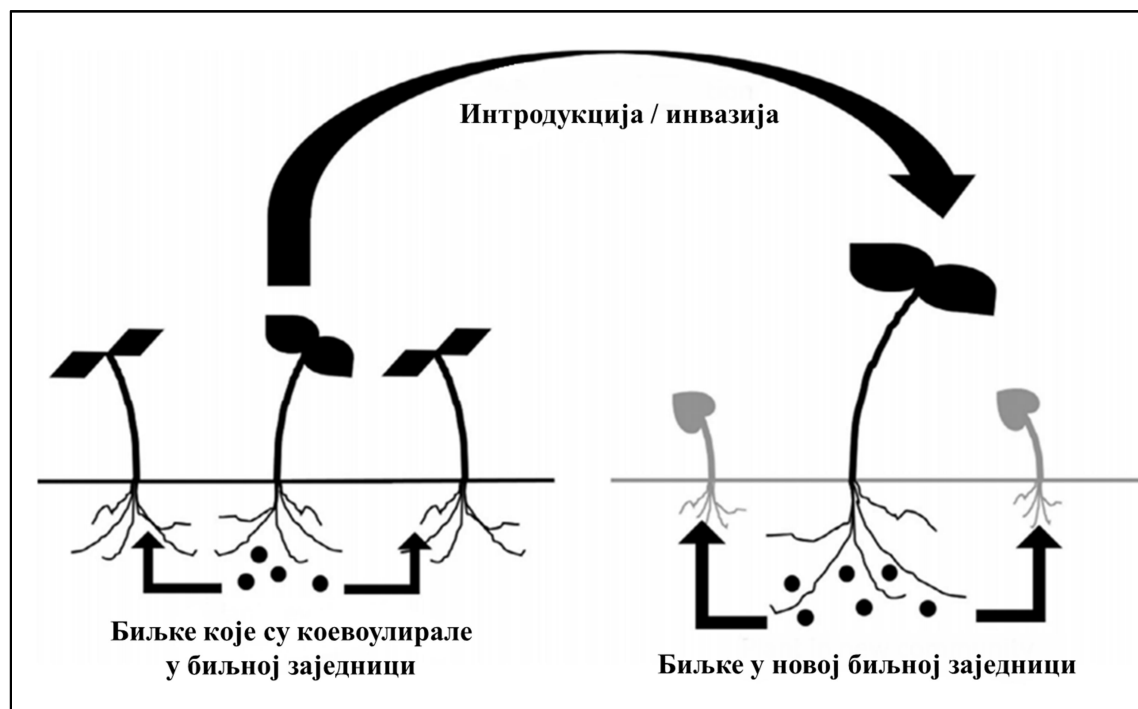
### 1.3. Алелопатија као механизам инвазивности биљних врста

Једна од „мистерија“ у екологији јесте питање како се неке егзотичне врсте у изворном ареалу биљака јављају у релативно малој бројности и покривности, а у екстремно високој бројности у њиховом ареалу интродукције. Инвазивне врсте биљака често формирају монодоминантне састојине у ареалу интродукције, али коегзистирају са другим врстама биљака на стаништима свог аутохтоног ареала (Ridenour & Callaway, 2001). Иако је само мали део интродукованих врста биљака прошао фазу натурализације и инвазивности, те врсте имају веома велики еколошки и економски утицај и указују на веома значајан и релативно слабо објашњен еколошки процес. Истраживања инвазивних врста биљака су допринеле бољем разумевању механизма уз помоћ којих одређене врсте мењају структуру биљних заједница и утичу на функционисање екосистема (Vitousek, 1986; Lodge, 1993).

Једна од карактеристика инвазивних врста биљака је капацитет синтезе и отпуштања алелохемикалија које могу директно да инхибирају раст аутохтоних врста или да индиректно редукују раст ових биљака кроз ремећење мутуалистичких веза биљака са земљишним организмима, или кроз промену динамике нутријената (Kalisz *et al.*, 2021). У области екологије инвазивних врста биљака врше се интензивна истраживања на пољу алелопатије, јер се претпоставља да ове врсте успостављају доминацију у различитим биљним заједницама, делимично на рачун инхибиције раста других биљних врста у заједници (Hierro & Callaway, 2003). По неким ауторима, алелопатске интеракције и утицаји инвазивних врста представљају један од кључних механизма ширења ових врста (Callaway & Maron, 2006; Inderjit *et al.*, 2008; Pisula & Meiners, 2010; McEwan *et al.*, 2010). Процент страних врста биљака међу „алелопатским врстама“ је веома висок, јер су се врсте које живе у заједници адаптирале на секундарне метаболите пореклом од других биљних врста, па алохтона врста може бити извор једињења на које аутохтоне нису прилагођене (Callaway & Aschehoug, 2000). Хипотеза „новог оружја“ (Novel Weapon Hypothesis) претпоставља да алелохемикалије потенцијално омогућавају инвазију биљних врста у нове екосистеме, услед недостатка адаптивног потенцијала аутохтоних врста биљака на нова једињења пореклом из интродукованих биљних врста (Callaway & Ridenour, 2004; Kato-Noguchi *et al.*, 2015) (Слика 5). Такође, ова хипотеза претпоставља могућност коеволуције међу биљкама у биљним заједницама у различитим регионима света и да мешање врста из различитих региона повећава шансе ремећења еколошких процеса, који су заслужни за коегзистенцију врста и већи диверзитет заједнице. На тај начин „нова оружја“ представљају алтернативни механизам еволуције повећане конкуритивне способности код инвазивних врста биљака (Callaway & Ridenour, 2004). Неколико студија је подржало ову хипотезу (Ridenour & Callaway, 2001; Prati & Bossdorf, 2004; GómezAparicio & Canham, 2008; Thorpe *et al.*, 2009; Vecerra *et al.*, 2018; Irimia *et al.*, 2019), указујући да алелопатија има важну улогу у смањењу раста аутохтоних биљака услед дејства алелохемикалија пореклом из инвазивних биљних врста.

Хипотеза „алелопатске предности алохтоних у односу на аутохтоне врсте“ указује на то да природна селекција може да делује на оне врсте биљака које поседују „алелопатско оружје“ јер им омогућава већу конкуритивну предност у ареалу интродукције у односу на подручје из ког врста потиче (Callaway & Ridenour, 2004). Коренски ексудати су релативно неефикасни против њихових природних коегзистирајућих врста услед коадаптација, а могу бити јако инхибиторни код биљака са којима инвазивна врста долази у контакт у ареалу интродукције. Такође, селективна

предност поседовања „новог оружја“ може резултовати у брзој еволуцији тог оружја – на пример, синтези већих количина алелопатских или антимикуробних коренских ексудата (Callaway & Ridenour, 2004). Такође, алелохемикалије ослобођене од стране аутохтоних биљних врста могу утицати на раст инвазивних врста, и тако допринети биотичкој резистенцији према инвазијама биљака (Christina *et al.*, 2015). Исто тако, неке егзотичне врсте биљака могу ограничити ширење других егзотичних врста, јер алохтоне врсте које нису коеволирале једна са другом могу бити осетљиве на алелохемикалије друге алохтоне врсте (Callaway & Aschehoug, 2000).



Слика 5. Хипотеза „новог оружја“ - (модификовано према Hickman *et al.*, 2021)

Постоји велики број литературних података о алелопатском потенцијалу инвазивних врста (Inderjit, 1996; Heisey, 1997; Nasir *et al.*, 2005; Šćepanović *et al.*, 2007; Vrchotová & Šerá, 2008; Zhang *et al.*, 2019; Đurđević *et al.*, 2011, 2012, 2013; Zhang *et al.*, 2013; Csiszar *et al.*, 2013). На основу бројних студија може се тврдити да одређене врсте биљака остварују свој инвазивни потенцијал и постају доминантне на одређеним стаништима захваљујући алелопатском потенцијалу. И поред јасних негативних ефеката инвазивних врста и њихових заједница, значај алелопатије као својства ових врста је релативно слабо истражена. И даље остаје нејасно у којој мери и на који начин алелопатија делује као једна од кључних карактеристика која доприноси успеху инвазивних врста биљака (Kalisz *et al.*, 2021).

## 1.4. Значај истраживања алелопатије за еколошку науку и примењивост у пракси

Модерна истраживања у области алелопатије су интердисциплинарна и веома се брзо развијају. Овом науком се баве биолози, еколози, биохемичари, физиолози, педолози, теоријски хемичари, агрономи и шумари. Важност истраживања на пољу алелопатије Muller (1966) је представио на следећи начин: „Велики је значај проучавања алелопатије за еколошку теорију. Мале количине токсина могу бити одговорне за смањење раста биљака и апсорпције воде и минерала, а посредно имају утицај и на микроклиму. Традиционалне теорије о конкуренцији, релокацији и пропорцији биомасе, протоку енергије, кружењу минерала и функционисању екосистема су подложни ревалуацији тамо где је алелопатија индикована и доказана“.

Веома је важна улога алелопатских интеракција за биодиверзитет и очување екосистема. Алелопатија може да регулише густину и продуктивност биљне заједнице, али алелохемикалије најчешће не доводе до смрти биљака. Зато се алелопатске супстанце могу користити у биолошкој контроли без ефекта по изумирање других врста на које делују. Такође, алелопатија може представљати еволутивну стратегију за врсте које се налазе у спрату испод доминатних врста (Chou, 2006). Алелопатске интеракције имају важне ефекте на биљне заједнице. Један део врста из заједнице се губи услед хемијски индуковане инхибиције и кроз остваривање селективног притиска, који фаворизује јединке отпорне на инхибицију изазване дејством алелохемикалија (Schulz & Wieland, 1999). Иако су секундарни биљни метаболити веома важни у детерминисању интеракција између врста биљака и екосистемских процеса, њихова улога у одржавању биодиверзитета још увек није довољно проучена.

Разјашњавање алелопатских интеракција има велики практични значај у пољопривреди. Разумевање овог феномена може водити ка развоју нових хербицида, као и правилној ротацији усева како би се контролисали корови, развој „алелопатских варијетета“ пољопривредних култура, као и контрола „болести земљишта“ и проблема формирања нових плантажа насталих услед феномена аутоксичности (Апауа, 1999; Birkett *et al.*, 2001). У последњих неколико година пољопривреда мора да се избори са повећаним загађењем животне средине. Са једне стране, неодговорно се користе синтетичке хемикалије за контролу корова и штеточина у агроекосистемима, а са друге стране, лоше се управља фертилизацијом земљишта. Алелопатија нуди нову алтернативу – развој еколошке пољопривредне праксе са двоструким циљем – повећање продуктивности гајених биљака и очувања стабилности екосистема (Scavo *et al.*, 2018).

Сматра се да је синтеза алелохемикалија под регулацијом одређених гена. Уз напредне биотехнолошке методе, научници предвиђају да ће у будућности моћи да изолују алелопатске гене из једне врсте и да их пренесу у другу биљну врсту. Бројни гени, као што су ген инхибитор трипсина и ген регулатора етилена су успешно изоловане из једне биљке и пренете у другу биљку (Yeh *et al.*, 1997). Бројни истраживачи раде на методама трансфера алелопатских гена из дивљих врста у пољопривредне културе у циљу смањења коришћења синтетичких хербицида који имају штетне ефекте по животну средину. Такође, постоје шансе да се приступом генима који су укључени у биосинтезу секундарних метаболита и генетским инжењерингом повећа продукција или промени састав секундарних метаболита код биљака (Dixon, 2001; Inderjit & Duke, 2003; Sturz & Christie, 2003). Такође, алелохемикалије ослобођене у ризосферу показују значајан утицај на доступност нутријената, њихову динамику и усвајање од стране биљака. Шире знање о ефектима

биљних алелохемикалија на минералну исхрану и кружење нутријената у земљишту, детоксификацију тешких метала и повећању растворљивости нутријената може допринети повећању коришћења нутријената од стране биљака кроз редукцију њиховог губитка и развитка ефикаснијих и одрживијих техника ђубрења земљишта (Scavo *et al.*, 2019).

Резултати алелопатских студија могу да имају велику улогу у управљању и обнови екосистема. Идентификација алелопатског потенцијала алохтоних врста биљака може допринети селекцији одређених врста, са мањим алелопатским ефектима, у пројектима обнове вегетације и ревитализације деградираних станишта, попут јаловишта рудника, пепелишта термоелектрана, напуштених површинских копова руда и каменолома.

## **2. Карактеристике испитиваних врста биљака**

---

Предмет истраживања ове докторске дисертације су алелопатски ефекти биљних врста *Robinia pseudoacacia* L., *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle и *Amorpha fruticosa* L. чије се инвазивне популације јављају у различитим екосистемима Србије. Изабране биљне врсте припадају групи јако инвазивних врста у Србији, према класификацији из прелиминарног списка инвазивних врста биљака, у коме је идентификовано 18 јако инвазивних биљних врста у Србији (Lazarević, 2012). Јако инвазивне обухватају део инвазивних врста биљака које најагресивније освајају природна и полуприродна станишта и то најчешће без људског утицаја, спонтано се репродукују и формирају стабилне популације. Међу јако инвазивним биљним врстама посебно су важне дрвенасте и жбунасте врсте због њиховог доминантног утицаја на структуру биљних заједница и ефеката на процесе у природним и антропогено измењеним екосистемима, те је у овом поглављу представљен преглед литературе о биологији, екологији и инвазивном понашању изабраних инвазивних биљних врста – *R. pseudoacacia*, *A. altissima* и *A. fruticosa*.

## 2.1. *Robinia pseudoacacia* L. – биологија, екологија и ИНВАЗИВНОСТ

*Robinia pseudoacacia* L. (багрем) је листопадна дрвенаста врста из фамилије Fabaceae. Род *Robinia* обухвата око 20 дрвенастих и жбунастих врста аутохтоних у Северној Америци и Мексику (Diklić, 1972a). Овај род је у другој половини двадесетог века детаљно истражен од стране Peabody (1984) и Isely & Peabody (1984), који су издвојили четири различите врсте рода *Robinia* – *Robinia pseudoacacia* L., *R. neotexicana* A. Gray, *R. hispida* L. и *R. viscosa* L., за разлику од претходних традиционалних истраживања која су потврдила 20 или више врста овог рода. У нашој земљи је присутна само врста *Robinia pseudoacacia* L. (Diklić, 1972a) (Слика 6). *R. pseudoacacia* је брзорастуће дрво средње висине, које често достиже висину до 20 m као појединачно дрво, или 30 m у састојинама, али на неким местима може достићи висину и до 35 m. Типична дужина живота је око 60 – 100 година, иако је тренутни рекорд у Европи више од 300 година. Врста *R. pseudoacacia* обично има плитак, али веома разгранат коренов систем који је одличан за везивање земљишта. Радијална ширина кореновог система је од 1 до 1.5 пута већа него висина стабла (Cutler, 1978). Листови су непарно перасто сложени, 10 – 30 cm дугачки, најчешће са паром трнова у основи (метаморфоза залистака) који остају на младим изданцима (Diklić, 1972a; Keresztesi, 1983; Loehle, 1988; Huntley, 1990).

*R. pseudoacacia* је једнодома биљка. Почетак цветања је обично око треће године старости. Опрашивање се врши уз помоћ инсеката. Плод је махуна која и преко зиме виси и садржи 4 – 10 семена, најчешће расејаваних путем ветра. Семена ове врсте остају дуго витална и акумулирају се у земљишту у великим количинама. Плодоношење је једном или два пута годишње код јединки старих од 6 до 40 година. *R. pseudoacacia* може да донесе око 7 – 15 kg семена на 45 kg плодова, са високим бројем семена, од 35.000 – 77.000 семена/kg (Olson, 1974; Roach, 1965). Расејавање је анемохорно и зоохорно. Поред полног размножавања, репродукција *R. pseudoacacia* се често врши вегетативним путем кроз хоризонтални раст корена. Ово дрво може да произведе велики број коренских резница, тако да *R. pseudoacacia* показује јаку способност клонског раста све до површине од 100 m<sup>2</sup> (Bartha et al., 2008; Kowarik & Starfinger, 2010; Cierjacks et al., 2013; Vitkova et al., 2015).

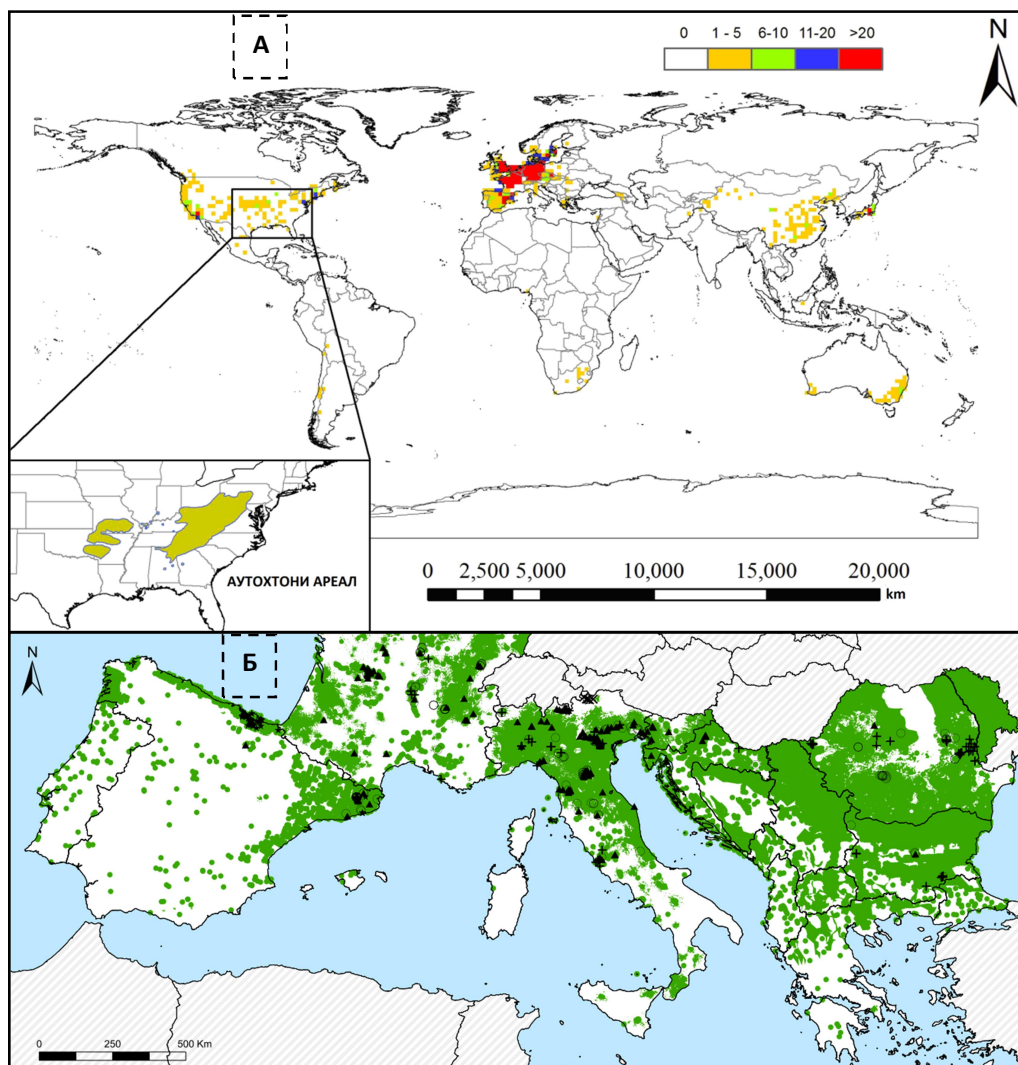
*R. pseudoacacia* је интродукована у Европу као орнаментална врста још у 17. веку, а пореклом је из источних и централних делова Северне Америке, где расте као

пионирска врста (Westbrooks, 1998; Huntley, 1990) (Слика 7). Источни део ареала у Северној Америци је са центром на Апалачким планинама од централне Пенсилваније и јужног Охаја, јужно до североисточне Алабаме, севера Џорџије и северозападног дела Јужне Каролине. Западна секција природног ареала укључује делове Мисурија, Арканзас и Оклахому, као и популације у Индијани и Кентакију (Huntley, 1990). У Европу је интродукован на самом почетку 17. века од стране Жана Робина, баштована краља Хенрија IV од Француске и сматра се да га је посадио у парку у Паризу 1604. године и да је то дрво и даље живо, старо 400 година и даље плодноси (Pasicznik N, CAB International, 2004).



Слика 6. *Robinia pseudoacacia* L. (фото: Ф. Грбовић)

У касном 18. и раном 19. веку, почело је екстензивно сађење ове врсте у Централној Европи, и данас се јавља у 42 европске земље, а натурализован је у 32 државе Европе. *R. pseudoacacia* се на европском континенту јавља од Сицилије у Италији на југу, до јужне Норвешке на северу и од обала Португала на западу па све до Кавказа на истоку. Главни делови овог ареала су у областима субмедитеранске климе, али у областима где су дуготрајне суше ретке. Сматра се другом по реду најчешће сађеном дрвенастом врстом у свету (Bartha *et al.*, 2008). У Србији је *R. pseudoacacia* јако распрострањена врста – после хрстова и букве то је најраспрострањенија лишћарска врста (Diklić, 1972a). У Војводини се *R. pseudoacacia* јавља и у рипаријалној зони акватичних екосистема, где има формиране стабилне популације (Laketić, 2011). Поједини аутори сматрају да глобално загревање може довести до додатног ширења ареала ове врсте (Fedorov, 2001; Rušek *et al.*, 2009; Kleinbauer *et al.*, 2010; Gederaas *et al.*, 2012; Ubaldi, 2013).



Слика 7. Ареал дистрибуције *Robinia pseudoacacia* L. у свету (А) и јужној Европи (Б) (модификовано према Li *et al.*, 2014 и Vitkova *et al.*, 2020)



*R. pseudoacacia* је хелиофитна пионирска врста која расте као усправно, једногранато или разгранато дрво, или као разгранати жбун у тежим условима на станишту. Ова врста расте на различитим стаништима, толерише различите педолошке услове, али је ограничена ниском аерацијом земљишта и задржавањем воде у земљишту. Добро је адаптирана на екстремне услове у животној средини, попут суше, загађења ваздуха и интензивне сунчеве радијације (Hanover & Mebrahtu, 1991). Међутим, рани и касни мразеви делују као ограничавајући фактор на дистрибуцију *R. pseudoacacia* (Bartha *et al.*, 2008). Најбоље успева на растреситом, плодном и дубоком песковитом земљишту. Као пионирска хелиофита, брзо осваја травнате површине, полуприродне шуме и градске средине, где се задржава дуже времена (Diklić, 1972a; Vitkova *et al.*, 2015). Врста *R. pseudoacacia* може да живи у опсегу рН земљишта од 4.6 до 8.2, и најбоље расте на умерено влажном и плодном иловастом земљишту (Roach, 1965). Иако може добро да обраста јаловине рудника у централном делу САД-а, ипак лоше успева на компактним глиновитим земљиштима у региону Апалачких планина (Hepting, 1971). Ова врста такође толерише слана и неплодна земљишта и може да се нађе на надморским висинама до 2500 m. Иако киселе кише могу да нанесу значајне штете листовима клијанаца (Neufeld *et al.*, 1985), врста *R. pseudoacacia* није превише осетљива на загађење ваздуха (Hanover, 1989). Ова врста је добро адаптирана на екстремне услове у животној средини, као што су суша и загађење земљишта (Hanover, 1991).

Коренови *R. pseudoacacia* су, као и код других врста из фамилије Fabaceae, домаћини бактерија азотофиксатора које расту на коренским нодулама. Захваљујући овој симбиози, *R. pseudoacacia* може додати од 23 до 300 kg азота у земљиште по хектару на годишњем нивоу. Због бактерија азотофиксатора које живе на кореновима, као и разређене крошње и лако разградиве стеље (опалог лишћа), ниво азота у земљишту је јако висок, што је јасно индиковано великим процентом нитрофилних биљака у заједници, што доводи до формирања карактеристичне нитрофилне вегетације (Cierjacks *et al.*, 2013).

*R. pseudoacacia* има дугачку историју коришћења у Северној Америци, јер су га Индијанци (староседеоци америчког континента) користили и допринели његовом ширењу пре досељавања Европљана у Северну Америку (Sargent, 1892). Европски досељеници су брзо открили да се ова врста може користити као дрво за огрев, жива ограда, за изградњу бродова, као и у естетске сврхе (Michener, 1988; DeGomez & Wagner, 2001). У почетку су фармери користили ову врсту како би обновили еродирана земљишта, поправили њихов квалитет и омогућили бољи принос дрвне масе на неплодним земљиштима (Rahmonov, 2009; Michener, 1988). *R. pseudoacacia* је врста која се сади на покретним песковима (Rahmonov, 2009; Kroodsma, 1937) и јаловинама рудника (DeGomez & Wagner, 2001; Ashby & Baker, 1968), нарочито на местима где је потребна амелиорација, контрола ерозије и поновно пошумљавање и где су земљишта сиромашна нутријентима (Rahmonov, 2009; Stone, 2009). Ово је једна од најчвршћих и најотпорнијих дрвенастих врста у Северној Америци, а веома је цењена и у Европи (Keresztezi, 1980; Gupta, 1993). Дрво *R. pseudoacacia* је јако цењено због велике отпорности према труљењу, што је резултат присуства различитих једињења у секундарном дрвету, највећим делом флавоноида (Smith, 1989).

У Русији и Кини ова врста је популарна за формирање ветрозаштитних појасева (Gras, 1991). Такође, ова биљка се користи у исхрани живине, преживара, свиња и зечева (Cheeke, 1992; Keresztezi, 1980), а нарочито у оним областима где су приноси луперке слабији (Horton & Christensen, 1981). Нектар и полен *R. pseudoacacia* су значајни за пчелињу пашу и у Европи се *R. pseudoacacia* нашироко гаји у циљу производње меда (Keresztezi, 1978). Недостатак инсеката, гљива и вируса у аералу

интродукције, који у природном ареалу у Северној Америци имају штетно дејство на популације *R. pseudoacacia*, омогућио је формирање великих плантажа, као и спонтано ширење широм света (DeGomez & Wagner, 2001). Многе од наведених особина због којих је *R. pseudoacacia* цењена врста истовремено доприносе и његовој инвазивности, па треба обратити пажњу и на ризике будућег ширења на суседна угрожена станишта (Stilinović, 1991; Grunewald *et al.*, 2009; Sitzia, 2014).

*R. pseudoacacia* се убраја у најраспрострањеније инвазивне врсте и покрива половину укупне површине шума у Европи (Vitkova *et al.*, 2017). У Србији је врста *R. pseudoacacia* категоризована као јако инвазивна биљна врста (Lazarević *et al.*, 2012), а присутна је и на Листи инвазивних врста Војводине (IASV, 2011). Иако спада у једну од 100 најинвазивнијих врста у Европи, само неколико држава има законе и иницијативе у сврху борбе са њом (Vila *et al.*, 2009). Инвазија *R. pseudoacacia* је документована у раносукцесионим стаништима, попут напуштених шљункара и депонија, грађевинских земљишта, секундарних шума, плански посечених шума, долињских ливада и пашњака, поред путева и на пожариштима. Када се унесе на одређено подручје, великом брзином ствара густ склоп са мало приземне флоре (Glišić *et al.*, 2014). Састојине *R. pseudoacacia* могу да мењају рН земљишта, повећавају укупан садржај азота и органског угљеника, а да смањују укупну количину фосфора у земљишту и стељи. Адаптибилност *R. pseudoacacia* и његов капацитет за трансформисање екосистемских процеса је узрок штетних ефеката по биодиверзитет. Такође, утицајем на промене хемијских карактеристика земљишта, *R. pseudoacacia* доприноси повећаној осетљивости екосистема на инвазију других алохтоних биљних врста. У састојинама *R. pseudoacacia* којима се није газдовало дужи временски период уочена је слабија конкуритивна способност у каснијим сукцесионим стадијумима (Motta *et al.*, 2009; Cierjacks *et al.*, 2013).

Високи потенцијал за инвазију *R. pseudoacacia* се може везати за генеративно и вегетативно размножавање, али и алелопатске активности ове биљке (Nasir *et al.*, 2005; Cierjacks *et al.*, 2013). Секундарни метаболити ове биљке инхибирају раст и развој других биљака, те је састав биљних врста у заједницама у којима доминира *R. pseudoacacia* под јаким утицајем ове врсте (Sabo, 2000). Брезе које расту унутар састојина *R. pseudoacacia* имају мање листове, а крајеви изданака почињу да се суше и дрво умире (Bartha *et al.*, 2008). Сличан, али мање очигледан феномен је уочен и код букве. У Русији је уочено да *R. pseudoacacia* одлаже раст брестова, као и да супстанце које се испирају са коренова умањују фотосинтезу код храста лужњака. У неким деловима Хрватске је пошумљавање овом врстом довело до успоравања спонтаног обнављања храстових шума (Нрушка, 1991). Такође, показан је инхибиторни ефекат екстракта корена *R. pseudoacacia* на клијање врста *Allium porrum*, *Capsicum annuum* и *Papaver somniferum* (Bartha *et al.*, 2008).

Контрола популација *R. pseudoacacia* уз помоћ механичких мера је знатно ограничена, услед високе стопе вегетативног размножавања ове врсте. Ипак, показано је да се раст клијанаца и азотофиксација код *R. pseudoacacia* успоравају алелопатским дејством неколико зељастих врста биљака, као што је *Solidago altissima* L. и *Andropogon virginicus* L. (Converse, 1984). Сеча или паљење обично доприносе појачаном вегетативном размножавању (Converse, 1984; Weber, 2003), док глифосат може успешно инхибирати раст или уништити популације *R. pseudoacacia* (Huntley, 1990; Weber, 2003).

## 2.2. *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle – биологија, екологија и инвазивност

*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle (кисело дрво) је листопадна дрвенаста врста из фамилије Simaroubiaceae. Фамилија Simaroubiaceae обухвата око 200 тропских врста које су разврстане у 30 родова. Род *Ailanthus* садржи 12-15 врста распрострањених у Азији, Аустралији и северној Океанији (Vukićević, 1973). У нашој земљи се јавља једино врста *A. altissima* (Слика 8). До сада су описана 3 варијетета ове врсте - *altissima*, *tanakai* и *sutchuensis* (Chen, 1997). *A. altissima* је листопадно, ретке круне и средње висине, високо до 20 – 30 m, а листови су непарно перасто сложени (Vukićević, 1973; Shah, 1997).

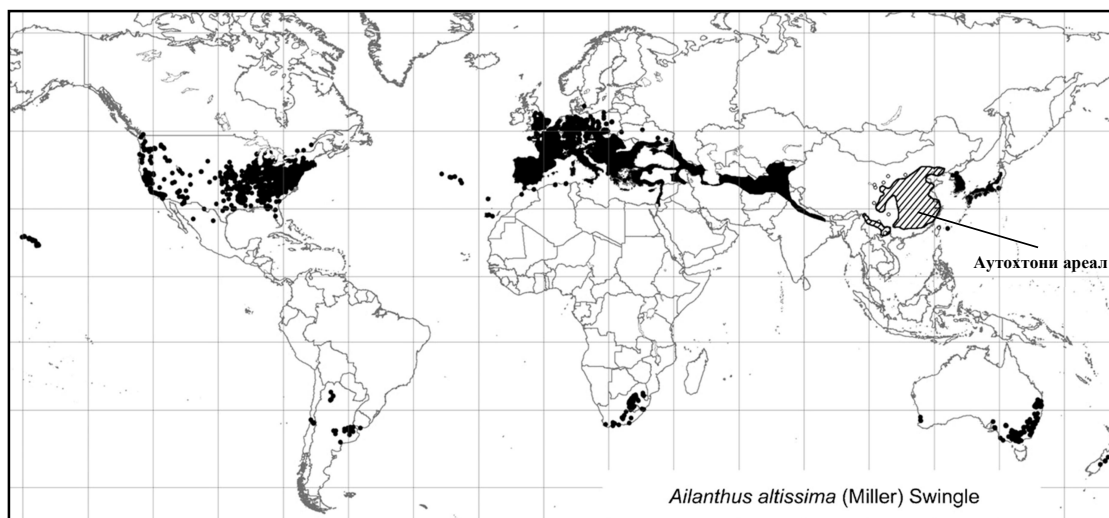


Слика 8. *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle (фото: Ф. Грбовић)

Цветови се јављају у касно пролеће, а дрво је обично дводомо, али у неким случајевима хермафродитно (Shah, 1997). Једна индивидуа може произвести и од 350.000 до милион семена годишње (Heisey, 1997; Weber, 2003). *A. altissima* цвета у мају, а плононоси у периоду јун – август. Плодови и семена се примарно разносе ветром, а секундарни вектор расејавања је вода, па се разносе на велике удаљености и неприступачна места (Heisey, 1997; Kowarik & Säumel, 2007). Ова врста се размножава

путем семена и вегетативно (Vukićević, 1973; Shah, 1997; Sheppard *et al.*, 2006; Kowarik & Saumel, 2007).

Аутохтони ареал киселог дрвета везује се за умерено суве области источне Азије (северна и централна Кина) (Vukićević, 1973; Zheng, 1978; Liu, 1988) (Слика 9). Ова врста је у Европу интродукована у 18. веку и у почетку је сађена као украсно дрво, а затим се садила у сврхе поправљања квалитета земљишта и подизања шумских плантажа (Feret, 1985). На подручју Панонске низије *A. altissima* је први пут регистрована у 18. веку, а у румунском делу Баната у 19. веку (Udvardy, 2008; Sîrbu & Orrea, 2011). Најек (1927) констатује да се ова врста на Балканском полуострву гаји у парковима и вртовима, док Јовановић (1950) указује да *A. altissima* има велику виталност на различитим стаништима у Србији.



Слика 9. Ареал дистрибуције врсте *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle (модификовано према Kowarik & Samuel, 2006)

Данас је *A. altissima* једна од најраспрострањенијих врста широм Европе и Азије, а има је на целој планети до Антарктика (Kowarik & Saumel, 2007; Rušek *et al.*, 2009). Ниске температуре ограничавају ширење ове врсте ка северу, али је зато бројност *A. altissima* значајна у области Средоземља (Kowarik & Saumel, 2007). Експанзивно ширење *A. altissima* потпомогнуто је активним и пасивним антропогеним транспортом и расејавањем семена у последња два века, као и способности ове врсте да расте на стаништима која су сиромашна минералним материјама, у градским срединама, као и на фрагментисаним стаништима (Pan & Bussak, 1986; Landenberger *et al.*, 2007; Enescu, 2014).

*A. altissima* се најбоље развија у областима са топлијом климом. Као хелиофита, ова врста је слабо толерантна на сенку и преферира отворене просторе (Kowarik & Saumel, 2007). Ова биљка је отпорна на сушу и загађење ваздуха, али је осетљива на озон (Kowarik & Saumel, 2007; Gravano *et al.*, 1999). Висок адаптивни потенцијал *A. altissima* на услове средине у областима интродукције везује се за неповољне услове који владају у њеном аутохтоном ареалу, те се ова врста добро прилагођава на сваком станишту погоднијем од нативног (Hu, 1979). У свом природном поднебљу, *A. altissima* расте на стаништима са неповољнијим условима средине него на стаништима у Србији. Подручје одакле потиче *A. altissima* (северна Кина) обухвата пределе са сушном климом – релативно мала количина падавина је неравномерно распоређена. Из тих разлога је разумљиво зашто је ова врста веома успешна у условима који владају на

територији Србије и зашто се често користила у планским пошумљавањима низијских и брдских региона (Vukićević, 1973). *A. altissima* добро подноси суше јер може да редукује транспирацију у најтоплијем делу дана, а прстенасто порозна структура дрвета омогућава брз трансфер воде из коренова до листова, услед чега је ова врста остварила велики успех у екосистемима медитеранских области (Lepart *et al.*, 1991). *A. altissima* најбоље расте на растреситим и порозним земљиштима, али може успевати на различитим типовима земљишта од песковите или глиновите иловаче до плитких и сувих кречњачких земљишта (Kowarik & Sämel, 2007). Такође, *A. altissima* може толерисати неплодна земљишта на стеновитим брдским теренима где су падавине испод 750 mm годишње (Zheng, 1978). Може се наћи у широком опсегу надморских висина од 20 до 2400 m, а у умереној зони Хималаја расте на висинама од 1500 до 1800 m изнад нивоа мора (Kowarik & Sämel, 2007).

Због своје широке еколошке амплитуде *A. altissima* се садила, а и данас се сади по градовима, где се формирају њене субспонтане састојине. У урбаним срединама, ова врста преферира отворена и топла станишта, обично у просторима између тротоара, путева, на грађевинском отпаду, на старим зидовима и између зидова кућа, око срушених зграда, у двориштима фабрика и поред железничких пруга. Такође, ова биљка се често среће и у зеленим деловима града као жива ограда, или у оквиру украсног жбуња у двориштима и баштама. На таквим стаништима, где постоји релативно доста простора за раст коренова испод површине, јединке *A. altissima* расту релативно брзо и обилно плодносе већ након 4 – 5 година (Udvardy, 2008). Иако је *A. altissima* инвазивна врста градских и руралних средина, њено присуство се мора пажљиво пратити, нарочито у областима у околини заштићених предела или осетљивих шумских заједница.

*A. altissima* се у Кини користи као гориво и у столарији, јер се добро обрађује и лако полира (Vukićević, 1973). Ова врста се раније користила за више намена, попут украсне врсте, у народној медицини, или за изградњу заштитних шумских појасева (Feret, 1985; Hu, 1979; Enescu, 2014; Udvardy, 2008). *A. altissima* се генерално користи за заштитне појасеве и контролу ерозије, а нарочито у градовима где су земљишта сиромашна нутријентима, а атмосфера загађена. Такође се користила, а и даље се у неким областима користи, у пројектима обнове земљишта на депонијама (Lee *et al.*, 1997). Такође, *A. altissima* се употребљава и као огревно дрво и угаљ у неколико земаља. Листови ове врсте се могу користити као сточна храна и за исхрану свилене бубе. Корен се може користити за лечење епилепсије и астме (CAB International, 2021). Семе је извор уља и протеина које има примену у људској исхрани (Zheng, 1978). Коренови и листови садрже хербицидне супстанце (Heisey, 1990, 1997). Међутим, за ову врсту се може слободно рећи да има само привидну економску вредност, док је потенцијални штетни ефекат *A. altissima* по екосистемски и специјски диверзитет много значајније питање.

Обимно плодношење, брзо клијање, адаптивност на неплодна земљишта и брза стопа раста чине врсту *A. altissima* инвазивном у многим земљама у које је интродукована (Feret, 1985; Shah, 1997). Ова врста се налази на ЕРРО (European and Mediteranean Plant Protection Organization – Европско-медитеранска организација за заштиту биља) листи инвазивних врста биљака, и представља једну од 100 најинвазивнијих врста биљака Европе (Pušek *et al.*, 2009). У Србији је *A. altissima* сврстана у групу јако инвазивних биљних врста (Lazarević, 2012) и обухваћена је Листом инвазивних врста на подручју Војводине (IASV, 2011). Такође, *A. altissima* представља инвазивну врсту у Црној Гори (Stešević & Petrović, 2010), Босни и Херцеговини (Maslo, 2016) и Хрватској (Boršić *et al.*, 2008; Nikolić *et al.*, 2014), а у Словенији представља најинвазивнију дрвенасту врсту (Lešnik, 2017).

Биљне заједнице које су колонизоване од стране *A. altissima* се константно осиромашују биљним врстама у односу на стање пре уласка ове врсте у заједницу. У првим фазама, узроци оваквог стања су алелопатски ефекти супстанци ослобођени из биљног организма, углавном ексудата коренова, а касније се овај ефекат појачава засењивањем зељастих и жбунастих аутохтоних врста, које постепено бивају потиснуте из биљне заједнице. Због ових ефеката, *A. altissima* се тренутно убраја у 20 најинвазивнијих врста у Европи (Sheppard *et al.*, 2006; Руšek *et al.*, 2009; Dumitrascu *et al.*, 2010). У Сједињеним Америчким Државама *A. altissima* представља најраспрострањенију дрвенасту инвазивну врсту у шумским екосистемима (Luken & Thieret, 1997). У подручју од Масачусетса до Тексаса, *A. altissima* формира густе шибљаке који потискују аутохтону вегетацију, а нарочито је инвазивна уз обале река у западном делу САД-а (Westbrooks, 1998). У крајречним стаништима, присуство киселог дрвета је везано за мањи диверзитет биљних врста (Constán-Nava, 2012). *A. altissima* је пример врсте која је постала инвазивна изван своје природне климатске зоне, јер је нативна за суптропске и топле умерене климате, али је инвазивна у различитим климатима од хладне умерене до тропске климе (Cronk & Fuller, 1995; Kowarik & Säumel, 2007).

*A. altissima* је позната као извор алелопатских супстанци у листовима и кори, које су токсичне за многе врсте и које могу имати потенцијал за развој природних хербицида. Токсини коре корена показали су најзначајнији алелопатски ефекат, док је ефекат листова на инхибицију раста испитиваних индикаторских врста био умерен (Heisey, 1990, 1996). Због стварања релативно токсичних услова у земљишту, *A. altissima* може да успори или инхибира сукцесије биљних заједница, а након дужег времена доприноси осиромашењу диверзитета зељастих врста које расту у приземном спрату биљних заједница (Mergen, 1959; Lawrence *et al.*, 1991).

Механичке методе контроле популација *A. altissima* су се показале као недовољно ефикасне. *A. altissima* може да преживи и након паљења, сече и примене хербицида. Препоручује се да се клијанци уклањају ручно уз обавезно уклањање главног корена. Сеча надземног дела стимулише поновно ницање (Burch & Zedaker, 2003; Kowarik & Säumel, 2007). Чак и двострука сеча у току године не смањује способност киселог дрвета да се опет обнови (Constán-Nava *et al.*, 2010). Међутим, сеча уз апликацију хербицида као што је глифосат даје резултате у смањењу раста и развоја *A. altissima* (Burch & Zedaker, 2003; DiTomaso & Kyser, 2007; Bowker & Stringer, 2011). Такође, ефикасна је и примена ињекција хербицида у стабло и коришћење фолијарног спреја (Meloche & Murphy, 2006; Badalamenti *et al.*, 2013). Поред механичких и хемијских метода, коришћене су и методе биолошке контроле *A. altissima* уз помоћ врста *Eucryptorrhynchus brandti*, *E. chinensis*, *Orthopagus lunulife*, *Alternaria ailantherae*, *Aecidium ailantherae*, *Eligma narcissus*, *Lycorma delcatula* и *Cylindrobasidium laeve* (Luken & Thieret, 1997; Lennox *et al.*, 1999; Ding *et al.*, 2006).

## 2.3. *Amorpha fruticosa* L. – биологија, екологија и ИНВАЗИВНОСТ

*Amorpha fruticosa* (багремац) је вишегодишња листопадна жбунаста врста, из фамилије Fabaceae. Род *Amorpha* обухвата око 15 врста пореклом из Северне Америке (Cullen, 1995; Roskov *et al.*, 2018). У Србији се јавља само *A. fruticosa* (Diklić, 1972b) (Слика 10). *A. fruticosa* се најчешће јавља као жбун висине 1 – 3 m, али може да достигне и 6 m, и тада има облик дрвета са танким усправним гранама. Листови су непарно перасто сложени, дужине до 30 cm са 5 – 10 парова листића који су јајолико-елиптични до издужени (Diklić, 1972b; Tucović & Isajev, 2000).

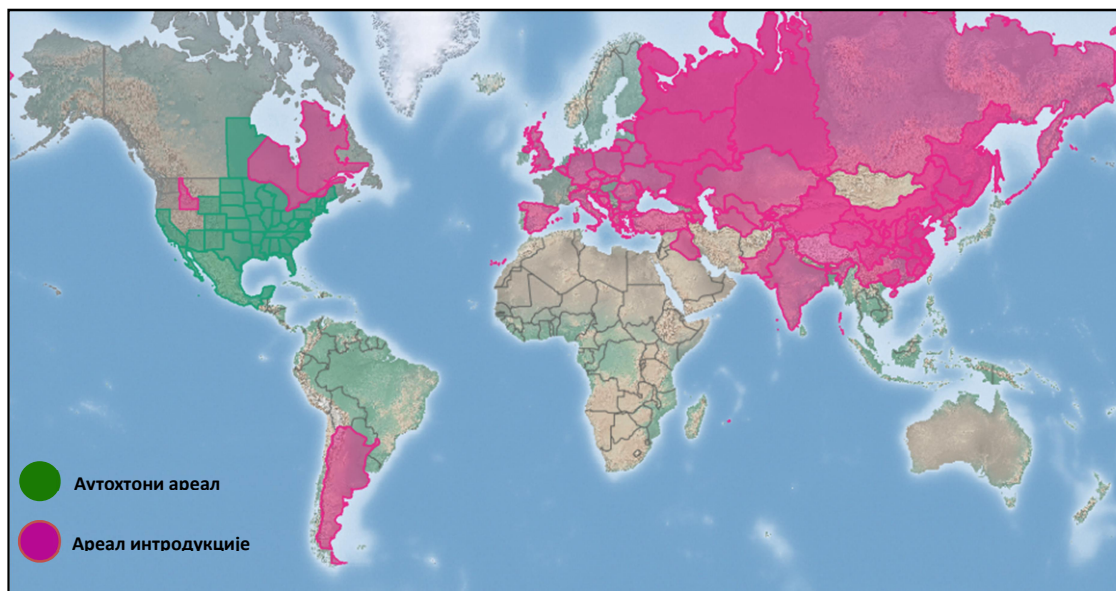


Слика 10. *Amorpha fruticosa* L. (фото: Ф. Грбовић)

Цветови су груписани у рацемозне цвасти – гроздове, дужине 10 – 15 cm, које су постављене на врховима изданака. Цвет је тамнољубичасте боје. Цветање *A. fruticosa* се одвија у периоду мај – јун, а некада се јавља цветање и плодоношење више пута годишње (Diklić, 1972b). Плод је српаста махуна, дужине око 1 cm, у већини случајева

једносемена, ређе двосемена. Расејавање семена се често врши уз помоћ водотокова (хидрохорија) (Szigetvári, 2002; Blagojević *et al.*, 2015), ређе уз помоћ животиња као што су мали сисари и птице које могу учествовати у расејавању (Szigetvári, 2002). Размножавање *A. fruticosa* се поред генеративног може вршити и вегетативним путем. Вегетативно размножавање је посебно интензивно када дође до смрзавања или сече надземних изданака (Gencsi & Vancsura, 1992; Szigetvári, 2002). Након сече или кошења надземних делова *A. fruticosa*, долази до брзог изданачког обнављања. Такође, често је и ожиљавање изданака који иду уз подлогу формирањем адвентивних коренова (Szigetvári, 2002).

Врста *A. fruticosa* је пореклом из Северне Америке, а натурализована је и у централним деловима САД-а, у источној Канади и северним деловима Мексика (Diklić, 1972b; Blagojević *et al.*, 2015) (Слика 11). У аутохтоном ареалу углавном насељава речне обале и друга влажна станишта (Wilbur, 1975; Zavagno & D'Auria, 2001). На европски континент доспела је 1724. године као орнаментална врста, а на Балканско полуострво почетком 20. века (Науек, 1927; Krpan *et al.*, 2015). Након Првог светског рата, *A. fruticosa* се интензивно проширила на крајречна станишта у долинама Дунава и Тисе (Szigetvári & Tóth, 2008). Petračić (1938) бележи ову врсту у посавским шумама Хрватске и то је први званични научни рад о овој врсти у шумама наших простора (тадашње Краљевине Југославије) (Radulović *et al.*, 2008). *A. fruticosa* се на подручју Србије користила за пошумљавање, одакле је почело њено субспонтано ширење (Diklić, 1972b) и то највише на алувијална станишта у долинама великих река (Дунав, Сава, Тиса и Велика Морава) (Jovanović, 1950; Slavnić, 1952; Tucović & Isajev, 2000; Radulović *et al.*, 2008; Radovanović *et al.*, 2017).



Слика 11. Ареал дистрибуције врсте *Amorpha fruticosa* L.  
(СAB International 2021 - Invasive Species Compendium)

*A. fruticosa* добро успева на различитим типовима земљишта, од влажних до сувих, али јој највише одговарају влажна и умерено влажна земљишта крај обала великих река, као што су Сава и Дунав (Kostić, 2014). Способност *A. fruticosa* да се шири по шумама које су често плавлене везана је за чињеницу да квашење и потапање махуна ове врсте доприноси повећаној клијавости семена (Tucović *et al.*, 2004; Kostić, 2014). Из тих разлога *A. fruticosa* може веома успешно да расте на тешким ритским



глејним земљиштима, где се вода задржава у подлози већим делом године. Ова врста добро расте и на насипима, усецима путева и пруга који су релативно суви, па се користи за пошумљавање одрона, клизишта, слатина, као и врста за ветрозаштитне појасеве, јер развијеним кореновим системом добро везује земљиште (Isajev *et al.*, 2010; Karmyzoва, 2014; Kozuharova *et al.*, 2017).

Досадашња истраживања станишта на којима *A. fruticosa* опстаје указују да постоји солидан раст ове врсте на земљиштима контаминираним металима, на обалама рибњака, као и на нађубреним земљиштима (Seo *et al.*, 2008). Релативно широка еколошка амплитуда, као и рано и обилно сазревање плодова доприносе њеном ширењу на различита влажна, полувлажна и сува станишта, те је ова биљка типична за шуме врбе и тополе, лужњака и јасена, у засадима канадске тополе, на ивицама шума, на чистинама, али и на стаништима са екстремним условима средине, попут сланих и песковитих земљишта (Diklić, 1972b; Bobinac, 1999; Szigetvári & Tóth, 2008; Radovanović *et al.*, 2017).

Различити делови *A. fruticosa* користе се у биомедицинске сврхе. Истраживани су утицаји ротеноидних гликозида ове врсте на раст имунских ћелија човека (Lee *et al.*, 2006), затим антимицробне и антиканцерогене активности ротеноида, фенолних киселина и флавоноида из различитих делова биљке (Gao *et al.*, 2003; Sangthong *et al.*, 2011; Svetković *et al.*, 2019). Испарљива уља из семена *A. fruticosa* показала су умерене антибактеријске ефекте против грам позитивних бактерија (Ivănescu *et al.*, 2014), а такође су допринела и бржем зарастању рана (Qu *et al.*, 2013). Такође, потенцијални медицински значај *A. fruticosa* може имати и код лечења дијабетеса и болести метаболизма (Kozuharova *et al.*, 2017). Новија истраживања указују и на антиоксидативну активност, потенцијал за развој нових медијума за узгајање култура животињских ћелија и зелену алтернативу за постојеће синтетичке антикорозивне хемикалије (Jakovljević *et al.*, 2015).

Употреба *A. fruticosa* у циљу производње хране првенствено се односи на медоносни потенцијал ове врсте (производња меда, полена и прополиса), производњу зачина, као и алтернативни извор хране за дивљач и стоку (Maćukanović-Josić & Jarić, 2016; Ciuvat *et al.*, 2016; Kozuharova *et al.*, 2017). *A. fruticosa* може представљати добар извор хемикалија за фармацеутску индустрију, као и за производњу инсектицида (Сао *et al.*, 1996), хербицида, антимицробних агенаса и антипатогена у пољопривреди (Novanet *et al.*, 2015; Liang *et al.*, 2015). Због брзог раста и велике продукције биомасе за релативно кратак период, ова врста се може користити у сврху добијања обновљивих „зелених“ извора енергије. Пошто је *A. fruticosa* врста из фамилије Fabaceae, и успоставља симбиотске односе са азотофиксирajuћим бактеријама, ова врста се користи за побољшање хемијских карактеристика и плодности земљишта која су релативно сиромашна нутријентима, као и за обогаћивање азотом јаловина поред рудника (Wang *et al.*, 1999; Jelea & Jelea, 2008). Биопотенцијал *A. fruticosa* се у току једне године може искористити на различите начине у току сезона. У пролеће се *A. fruticosa* може користити у сврху добијања меда и полена, током лета би се прикупљали плодови у биомедицинске сврхе, а у току зиме би се могло вршити експлоатисање биомасе ове биљке за индустријске потребе (Ciuvat *et al.*, 2016).

*A. fruticosa* представља инвазивну врсту у Европи (Dumitrascu, 2010; DAISIE, 2015; EPPO, 2018). У Србији је окарактерисана као јако инвазивна врста (Grbić *et al.*, 2007; Lazarević *et al.*, 2012), а има је и на Листи инвазивних врста Војводине (IASV, 2011). Извештаји Европске агенције за животну средину (2007) указују на то да се *A. fruticosa* несметано проширила у многим европским земљама и да представља опасност по аутохтоне биљне врсте и станишта (Radulović *et al.*, 2008). На замочвареним стаништима, *A. fruticosa* успорава или потпуно стомира развој постојеће вегетације

(Botta-Dukat, 2008). Младе шумске културе су веома осетљиве на инвазију *A. fruticosa*, јер ова врста значајно брже и обимније расте од већине шумских култура и може довести до њиховог одумирања (Bobinac & Radulović, 2002). *A. fruticosa* је врста релативно слабих конкурентских карактеристика у шумским екосистемима, јер је обично потиснут растом дрвенастих врста (Magyar, 1960). Међутим, због брзог раста, способности засењавања других врста, као и потенцијалног алелопатског деловања (Csizsar, 2009) и способности азотофиксације (Wang *et al.*, 1999), *A. fruticosa* је веома успешна у трансформисању биљних заједница ливада и пашњака. На плавним стаништима *A. fruticosa* представља агресивну врсту са јаким конкурентским способностима у односу на аутохтоне врсте (Tucović *et al.*, 2004). У одсуству испаше или кошења, ова врста веома брзо осваја ливадске биљне заједнице, а својом способношћу брзог раста трансформише станиште у релативно хомогене шикаре већ након 5-6 година (Szigetvári, 2002). Испод затвореног склопа крошњи багремца, већина ливадских врста не може да опстане, те остају биљне заједнице релативно флористички сиромашне (Zavagno & D’Auria, 2001; Szigetvári, 2002).

Истраживања спроведена на територији Србије указују на потенцијал инсекта *Acanthoscelides pallidipennis* (Motschulsky) у биолошкој контроли популација *A. fruticosa* (Gagić *et al.*, 2008). Такође, у Србији се у циљу контроле инвазивних популација *A. fruticosa* успешно користе хербициди глифосат и триклопир триметиламин (Blagojević *et al.*, 2015). Механичке методе контроле, попут систематске и поновљене сече, кошења и испаше ове врсте се првенствено користе у заштићеним подручјима различитих европских држава, где је употреба хербицида забрањена (Szigetvári, 2002; Ciuvăţ *et al.*, 2016).

### **3. Циљеви истраживања**

---

Прегледом литературе утврђено је да присуство, механизми инвазивности и утицај *R. pseudoacacia*, *A. altissima* и *A. fruticosa* у различитим екосистемима Србије нису до сада довољно и систематски истражени. Поред неколико студија о алелопатској активности испитиваних таксона, веома је мало истражена варијабилност алелопатске активности ових врста на различитим стаништима. Највећи број до сада спроведених истраживања односи се на утицај екстракта одређених делова биљака или целе биљке на клијање и раст изабраних индикаторских врста. У релативно малобројним студијама које се комплексније баве алелопатским потенцијалом инвазивних врста проучавани су ефекти фенолних једињења на биљне врсте и заједнице, док је мањи број истраживања био посвећен утицају фенолних једињења на карактеристике земљишта. Нарочито је мало радова у којима су утврђивани односи између хемијских карактеристика земљишта, садржаја алелохемикалија у земљишту, као и хемијских карактеристика и садржаја алелохемикалија у различитим биљним органима и стељи. Ово доказује да је проучавање алелопатског ефекта инвазивних врста биљака са комплексне еколошке тачке веома важно за еколошку науку и праксу и да представља релативно младу и неистражену област хемијске екологије биљака која је у Србији на почетку развоја.

Имајући у виду предмет истраживања дефинисане су **радне хипотезе**:

- ❖ изабране инвазивне врсте биљака: *Robinia pseudoacacia* L., *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle и *Amorpha fruticosa* L. показују алелопатски потенцијал услед синтезе и отпуштања алелохемикалија (фенолних једињења) у супстрату;
- ❖ садржај алелохемикалија у листовима, стељи и ризосферном супстрату испитиваних врста биљака зависи од типа станишта и еколошких услова на станишту;
- ❖ садржај и алелопатска активност фенолних једињења у супстрату је под утицајем хемијских карактеристика супстрата, садржаја хемијских елемената у супстрату, као и под утицајем фенолних једињења пореклом из листова и стеље испитиваних врста;
- ❖ садржај и алелопатска активност фенолних једињења у листовима и стељи испитиваних врста зависе од садржаја хемијских елемената у листовима и стељи;
- ❖ постоји утицај карактеристика супстрата на квалитативни и квантитативни састав алелохемикалија у листовима и стељи испитиваних врста биљака;
- ❖ алелохемикалије доприносе повећаној доступности одређених хемијских елемената, што може додатно допринети инхибицији раста клијанаца индикаторске врсте *Trifolium pratense* L.;
- ❖ инвазивне популације испитиваних биљних врста остварују јак „алелопатски притисак“ на животну средину, кроз синтезу и отпуштање алелохемикалија које имају директне ефекте на друге биљне врсте у заједници и индиректне ефекте на процесе у екосистемима, стварајући на тај начин простор за повећање бројности својих популација и доминацију на различитим стаништима.

У циљу провере постављених хипотеза конципирано је истраживање и дефинисан **општи циљ** овог рада: утврђивање алелопатског потенцијала изабраних инвазивних врста биљака које расту у различитим екосистемима Србије и значаја директног и индиректног ефекта алелохемикалија пореклом од ових врста у прогресивном ширењу на различита станишта. **Практични циљеви** овог истраживања

су допринос бољем разумевању алелопатских ефеката испитиваних биљних врста и могућности касније примене ових врста у процесу обнове и унапређења деградираних екосистема, као и допринос развоју еколошки прихватљивих и одрживих решења у шумарству и пољопривреди.

**Специфични циљеви и задаци** ове дисертације су:

- ❖ да се утврди утицај изабраних биљних врста на хемијске карактеристике супстрата анализом рН (H<sub>2</sub>O) и рН (KCl), садржаја С, N, вредности С/N, као и концентрација Р<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и К<sub>2</sub>O у контролном и ризосферном супстрату испитиваних инвазивних врста биљака на различитим стаништима – Делиблатска пешчара, депонија пепела, јаловиште азбеста, кречњачко станиште, алувијални нанос Велике Мораве;
- ❖ да се утврде разлике у садржају хемијских елемената (Cr, Cu, Fe, Mn, Ni и Zn) код контролног и ризосферног супстрата испитиваних врста биљака на различитим стаништима и њихов утицај на садржај фенолних једињења у супстрату, стељи и листовима испитиваних биљних врста;
- ❖ упоредна анализа садржаја хемијских елемената (Cr, Cu, Fe, Mn, Ni и Zn) у листовима и стељи код испитиваних инвазивних врста биљака на различитим стаништима;
- ❖ одређивање разлика у садржају фенолних једињења (3,5-DHBA, 3-HBA, ферулинске киселине, *n*-кумаринске киселине и рутина) у контролном и ризосферном супстрату, као и у листовима и стељи испитиваних врста биљака на различитим стаништима;
- ❖ одређивање инхибиторне активности испитиваних врста биљака кроз детекцију инхибиције раста индикаторске врсте *Trifolium pratense* L. у биотестовима са супстратом, листовима и стељом испитиваних врста биљака са различитих станишта;
- ❖ утврђивање корелационих односа између садржаја фенолних једињења као потенцијалних алелохемикалија у супстрату и хемијских карактеристика супстрата, као и садржаја хемијских елемената у ризосферном супстрату испитиваних врста биљака; одређивање значаја детектованих фенолних једињења у инхибицији раста клијанаца индикаторске врсте *Trifolium pratense* L.;
- ❖ одређивање утицаја хемијских елемената и фенолних једињења у листовима и стељи испитиваних врста биљака на инхибиторну активност изражену кроз редукцију раста коренка индикаторске врсте *Trifolium pratense* L.;
- ❖ утврђивање разлика у вредностима испитиваних параметара супстрата, стеље и листова *R. pseudoacacia*, *A. altissima* и *A. fruticosa* у оквиру станишта на којима ове врсте коегзистирају.

## **4. Материјал и методе**

---

## 4.1 Карактеристике испитиваних станишта

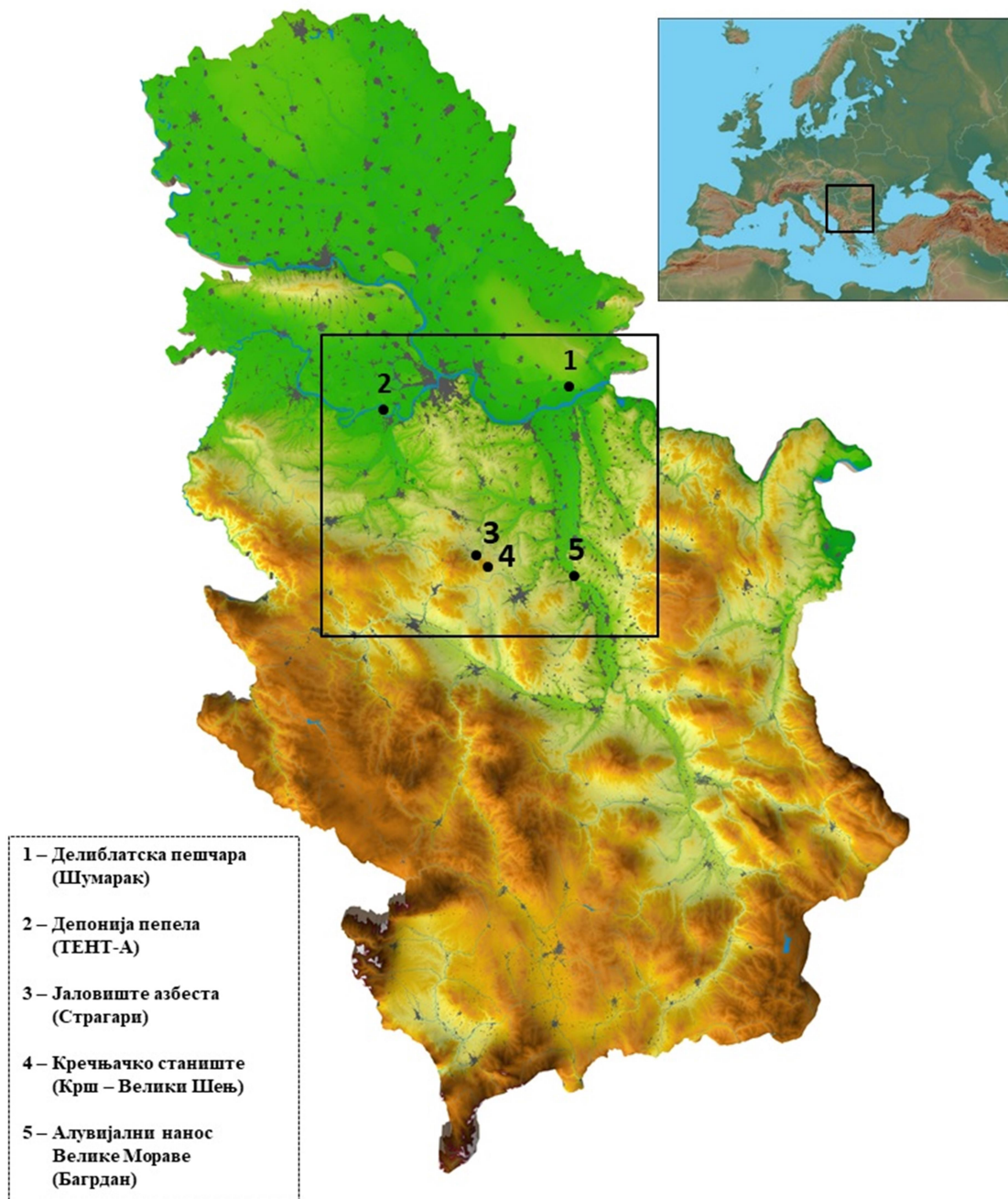
У оквиру ове дисертације спроведена су истраживања на 5 различитих типова станишта (Табела 1, Слика 12). Истраживана станишта обухватила су локалитете који се налазе на различитим геолошким подлогама: еолском песку, алевритима и глинама, серпентиниту и серпентинисаним перидотитима, кречњацима и лапорцима, шљунковима и песковима. Настанак и формирање земљишта на овим геолошким подлогама условљени су комбинацијом различитих еколошких и педолошких фактора, као и значајним антропогеним утицајима, тако да условљавају појаву различитих типова земљишта и специфичних биљних заједница.

Табела 1. Карактеристике испитиваних станишта и локалитета

Станиште / Локалитет	Географске координате	Дијапазон надморских висина (m)	Геолошка подлога <sup>1</sup>	Тип земљишта (супстрата) <sup>1</sup>	Природна потенцијална вегетација <sup>2</sup>
Делиблатска пешчара (Шумарак)	N 44°48' E 21°10'	87 – 94	Еолски песак (холоцен)	Чернозем на песку (иловасто-песковити)	<i>Aceri tatarici-Quercetum roboris</i> Zolyomi 1957.
Депонија пепела (ТЕНТ-А)	N 44°40' E 20°08'	76 – 87	Алеврити и глине (горњи холоцен)	Летећи пепео (депосол)	<i>Salici-Populetum nigrae</i> Parabućski 1972.
Јаловиште азбеста (Страгари)	N 44°09' E 20°40'	227 – 290	Серпентинити и серпентинисани перидити (жура)	Јаловина азбеста (депосол)	<i>Quercetum fraineto cerris</i> Rudski 1949.
Кречњачко станиште (Крш – Велики Шењ)	N 44°06' E 20°44'	546 – 555	Кречњаци и лапорци (горња креда)	Гајњача (плитка)	<i>Quercetum fraineto cerris</i> Rudski 1949.
Алувијални нанос Велике Мораве (Багрдан)	N 44°05' E 21°11'	103 – 108	Шљункови и пескови (горњи холоцен)	Рецентни алувијални нанос (некарбонатан)	<i>Salici-Populetum nigrae</i> Parabućski 1972.

<sup>1</sup> GeoSrbija, <sup>2</sup> Jovanović *et al.* (1986)

На станишту депоније пепела термоелектране „Никола Тесла – А“ (ТЕНТ-А) у Обреновцу и на станишту Делиблатска пешчара идентификоване су и узорковане све три испитиване врсте - *R. pseudoacacia*, *A. altissima* и *A. fruticosa*. На јаловишту азбеста рудника азбеста „Страгари“ узоркован је супстрат и биљни материјал врсте *R. pseudoacacia*. На ободном делу кречњаког каменолома Крш – Велики Шењ узоркован је супстрат, стеља и листови врсте *A. altissima*. Са алувијалног наноса Велике Мораве у месту Багрдан узорковани су супстрат, стеља и листови врсте *A. fruticosa*.



Слика 12. Истраживана станишта и локалитети у Србији



#### 4.1.1. Делиблатска пешчара (Шумарак)

Локалитет Делиблатска пешчара (44°4' N, 21°10' E) обухвата пешчарско станиште у месту Шумарак, које припада општини Ковин и Јужнобанатском управном округу АП Војводине. Надморска висина испитиваног локалитета у опсегу је од 87 – 94 m. (Слика 13).



Слика 13. Делиблатска пешчара (Шумарак) (фото: Ф. Грбовић)

Делиблатска пешчара је највећа пешчара у Србији и једна од већих у Европи. Налази се у јужном Банату и пружа се правцем југоисток-северозапад и заузима површину од око 600 km<sup>2</sup> (Menković, 2013; Ćuk, 2019). Делиблатска пешчара се простире од Тамиша до Дунава, а на Дунав се наслања својим југоисточним делом.

Окружена је насељима и пољопривредним површинама, и осим два насеља (Шушара и Шумарак) која се налазе у самој пешчари, цело подручје је ненасељено и пусто (Ћук, 2019). Велики део Пешчаре налази се у оквиру Специјалног резервата природе „Делиблатска пешчара“ (34829.32 ha) (Butorac & Nabijan-Mikeš, 1997). Испитивани локалитет Шумарак налази се у најнижем југозападном региону Делиблатске пешчаре – „ниски песак“.

На подручју Делиблатске пешчаре влада умерено-континентална клима, али се она разликује од умерено-континенталне климе остатка Панонске низије, јер је овде већи утицај Карпата, као и субмедитеранске климе, која до пешчаре стиже долином Јужне и Велике Мораве. Просечна годишња температура у Делиблатској пешчари је 12.5 °C, што је ниже од просечне температуре околних подручја (Ducić & Milovanović, 2004). Због специфичне пешчане подлоге, која се брзо загрева и хлади, амплитуда температуре је већа него у остатку Панонске низије (28.5 °C). Просечна температура ваздуха у вегетационом периоду је 16 – 18 °C, а температура земљишта (5 – 50 cm) креће се од 17.88 до 20.9 °C. У врелим летњим данима, на осунчаним странама, температура ваздуха у пешчари може достићи и 60 °C (Butorac & Ranjković, 2013; Ducić & Milovanović, 2004; Ћук, 2019).

Количина падавина је у просеку 664.15 mm годишње – највише падавина је у пролеће, у мају месецу. Просечна годишња влажност ваздуха је 76.33%, а испаравања су у пешчари знатно већа од количине падавина. Југоисточни и северозападни ветрови су доминантни ветрови који дувају на Делиблатској пешчари (Ћук, 2019). Најзначајнији је свакако југоисточни ветар – кошава, који обично дува више дана, без прекида, са јаким ударима који могу достигати брзине и од 80-100 km/h (Gajić, 1983). Важне одлике микроклиме Делиблатске пешчаре су и „рани“ и „касни“ мразеви, што значајно одваја ово подручје од околине и представља ограничавајући еколошки фактор овог типа станишта (Ducić & Milovanović, 2004). Подручје Делиблатске пешчаре је изразито сушно, јер практично нема извора и површинских токова. Атмосферске воде врло брзо пониру у дубље слојеве, тако да површински слојеви земљишта врло брзо остају без воде. На „ниском песку“ у југоистичном делу пешчаре, подземне воде се налазе на 2 – 4 m или 10 m дубине (Košanin, 2001; Gajić, 1983). Повећање нивоа подземних вода се у овом делу пешчаре десило услед изградње и пуштања у рад хидроелектране „Ђердап“, па је у најнижим деловима пешчаре дошло до избијања подземних вода на површину, и задржавања у виду бара, док су неки површински слојеви стално влажни услед ове појаве (Gajić, 1983; Butorac *et al.*, 2002).

За песак Делиблатске пешчаре се сматра да је настао у процесу физичког и хемијског уситњавања и разлагања стена, углавном силикатних, гранитних, гнајса или лискуног шкриљца. Постоји више теорија о начину и времену настанка Делиблатске пешчаре. Једна група научника сматра да је Делиблатска пешчара настала таложењем речних акумулација банатских река и наноса Дунава (Wessely, 1873; Halavats, 1884, Cvijić, 1924; Cholnoky, 1910; Bulla, 1938). Друга група научника има став да је Делиблатска пешчара еолског порекла и да је настала nanoшењем пескова или алувијалних наноса удаљених река на већ постојећи лесни плато (Milojević, 1949; Marković-Marjanović, 1949). И поред ових разлика у ставовима у погледу настанка пешчаре, већина научника се слаже да је кошава, која је у току читавог стварања пешчаре утицала на формирање дина, имала кључну улогу у геоморфологији и рељефу Делиблатске пешчаре (Marković-Marjanović, 1950; Bukurov, 1955; Rakić *et al.*, 1980, 1981; Menković, 2013).

Земљиште Делиблатске пешчаре је еолски нанос – основни супстрат је песак, који је прекривен плићим или дубљим слојем хумуса (Buga, 1969; Pavlović *et al.*, 2017). Дебљина пешчаног слоја је 30 – 50 m, где преовладава калцијум-карбонат, те је песак

базног карактера (Menković, 2013; Ćuk, 2019). У зависности од процента хумуса и влаге у подлози, јављају се различити типови вегетације – отворени пескови садрже око 1% хумуса, а у супстрату степских заједница овај проценат иде и до 5-6% (Stjepanović-Veselić, 1979; Ćuk, 2019). Сукцесија биљних заједница на пешчари, од пешчарских ка степским заједницама, праћена је еволуцијом земљишта, која се одвија под утицајем климатских и едафских прилика (Nejgebauer, 1958; Antić *et al.*, 1969). Земљиште на испитиваном локалитету Шумарак са којег је узоркован сустрат и биљни материјал представља чернозем на песку (иловасто-песковити, карбонатни), који настаје у оним деловима СРП „Делиблатска пешчара“ који се наслањају на околне пределе у којима доминира чернозем.

У циљу смиривања ширења песка Делиблатске пешчаре вршено је пошумљавање у више фаза са различитим врстама. Прва фаза пошумљавања почела је у првој половини 19. века. За пошумљавање су се у тој фази користиле дрвенасте врсте (бели бор, бреза, бела и црна топола, јаблан) и неке врсте псамофита (*Ammophila arenaria* (L.) Link, *Leymus arenarius* (L.) Hochst., *Carex arenaria* L.) (Stjepanović-Veselić, 1979). У другој фази (средина 19. века) врши се пошумљавање багремом (Bura, 1969), а у трећој фази (друга половина 19. века) саде се тополе и борови (Milenković *et al.*, 2018). Крајем 19. века, у четвртој фази пошумљавања, највише се саде багрем, топола и борови, али се користе и храст, кисело дрво, дуд и орах (Bura, 1969). Пети период пошумљавања обухвата формирање виноградарских колонија (Milenković *et al.*, 2018; Ćuk, 2019). Између Првог и Другог светског рата Делиблатска пешчара је највише пошумљавана багремом а ређе боровима (Milenković *et al.*, 2018; Ćuk, 2019). У току Другог светског рата, и непосредно након рата, дошло је до поновног пустошења делова Делиблатске пешчаре, тако да се тада још увек могу наћи слободни пескови. Након Другог светског рата следи нов период интензивног пошумљавања белим и црним бором (Milenković *et al.*, 2017).

Смене вегетацијских типова на Делиблатској пешчари дешавају се често веома брзо, јер су биљне заједнице на овим стаништима под утицајем динамичних еколошких фактора. Такође, близина Дунава и изражена антропогена активност утичу и на веома интензивну интродукцију нових врста у Делиблатску пешчару (Ćuk, 2019). Делиблатска пешчара се одликује веома широким спектром станишта – од пешчарских, преко степских, пашњачких, жбунастих, шумских и ливадских, све до антропогенизованих станишта. Пешчарска вегетација присутна је у централним деловима резервата, и то само у фрагментима. На „ниском“ песку присутне су хигрофилне шуме и ливаде, док гајене шуме заузимају више од 50% територије. Најбројнији су засади багрема и бора (Ćuk, 2019). Састојине багрема, које данас покривају највећи део Делиблатске пешчаре, сађене се у сврху везивања песка (Рапчић, 1863), али пошто се ова врста неконтролисано шири и формира густе састојине, представља инвазивну врсту. Због инвазивног карактера, даље сађење багрема у циљу стабилизације песка данас може да представља ризичан потез у управљању екосистемима (Borhidi *et al.*, 2012).

Удео инвазивних врста у флори Делиблатске пешчаре, које формирају густе популације и покривају велика пространства у пешчари, годинама расте (Ćuk, 2019). Ове врсте ремете функционалност и равнотежу природних заједница, што указује да треба развити и имплементирати конкретне мере у циљу њиховог сузбијања (Аначков *et al.*, 2013). Од 55 детектованих инвазивних врста биљака у Делиблатској пешчари, 11 врста има дрвенасту или жбунасту форму - *Acer negundo* L., *Ailanthus altissima* (Miller) Swingle, *Amorpha fruticosa* L., *Fraxinus americana* L., *Gleditsia triacanthos* L., *Juglans nigra* L., *Lycium barbarum* L., *Prunus serotina* Ehrh., *Reynoutria japonica* Houtt., *Rhus typhina* L. и *Robinia pseudoacacia* L. (Ćuk, 2019). На сувљим деловима „ниског песка“, где се као подлога јавља песковити чернозем на песку, најбројније спонтано раширене

инвазивне врсте су *R. pseudoacacia* и *A. altissima*, док је у влажнијим деловима на истом типу земљишта веома честа *A. fruticosa* (Слика 14, 15 и 16).



Слика 14. *Robinia pseudoacacia* L. у Делиблатској пешчари (фото: Ф. Грбовић)



Слика 15. *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle у Делиблатској пешчари (фото: Ф. Грбовић)



Слика 16. *Amorpha fruticosa* L. у Делиблатској пешчари (фото: Ф. Грбовић)

У састојинама са *R. pseudoacacia* забележено је више биљних врста, између осталих *Cephalaria transylvanica* (L.) Roem. & Schult, *Chenopodium album* L., *Crataegus monogyna* Jacq., *Glechoma hirsuta* Waldst. & Kit., *Lepidium heterophyllum* Benth., *Polygonum aviculare* L., *Taraxacum officinale* Weber, *Urtica dioica* L. Са врстом *A.*

*altissima* најчешће су биле присутне врсте *Aster lanceolatus* Willd., *Celtis occidentalis*, *Chenopodium album* L., *Conyza canadensis* (L.) Cronq., *Cornus sanguinea* L., *Crataegus monogyna* Jacq., *Galium aparine* L., *Geum urbanum* L., *Glechoma hederacea* L., *Phleum pratense* L., *Rosa canina* L., *Silene latifolia* subsp. *alba* (Miller) Greuter & Burdet, *Symphytum officinale* L., *Xanthium strumarium* subsp. *italicum* (Moretti) D. Löve. У састојинама са *A. fruticosa* честе су биле *Anchusa officinalis* L., *Ballota nigra* L., *Calystegia sepium* (L.) R. Br., *Celtis occidentalis* L., *Chenopodium album* L., *Cyperus esculentus* L., *Echinocystis lobata* (Michx) Torrey & A. Gray, *Fraxinus pennsylvanica* Marshall, *Glechoma hederacea* L., *Lycopus europaeus* L., *Malva sylvestris* L., *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel, *Polygonum aviculare* L., *Populus nigra* L., *Portulaca oleracea* L., *Rubus caesius* L., *Salix alba* L., *Salix cinerea* L., *Silene latifolia* subsp. *alba* (Miller) Greuter & Burdet, *Solanum dulcamara* L., *Achillea millefolium* L., *Carduus acanthoides* L., *Cephalaria transylvanica* (L.) Roem. & Schult, *Conyza canadensis* (L.) Cronq., *Cornus sanguinea* L., *Elymus repens* (L.) Gould, *Euonymus europaeus* L., *Euphorbia cyparissias* L., *Galium aparine* L., *Juglans regia* L., *Phalaris arundinacea* L., *Verbascum blattaria* L.

#### 4.1.2. Депонија пепела (ТЕНТ-А)

Депонија пепела термоелектране „Никола Тесла – А“ (ТЕНТ-А) у Обреновцу (44°40' N, 20°08' E) лоцирана је на десној обали реке Саве, 40 km узводно од Београда (Слика 17). Клима овог подручја је умерено континентална са средњим годишњим падавинама од 647 mm и температуром од 11°C. Климу карактеришу топла лета и хладне зиме, са температурним максимумом у јулу и минимумом у јануару. Најкишовитији месец је јун, а минимум падавина се јавља током октобра. Повољан годишњи распоред падавина позитивно утиче на раст биљака у овом подручју (Ђорђевић & Panić, 2006).

На испитиваном подручју (општина Обреновац) јављају се искључиво седиментне стене, кенозојске старости. Уз корито Саве су присутни пескови, шљункови и суглине. Главни представници стена су слабозане творевине: лапорци, пескови и глине. Приобални делови Саве, изграђени су од седимената сличног порекла и састава и имају идентичне водоносне слојеве (Dragičević & Karić, 2003; Kostić, 2014). Простор општине Обреновац се налази на додиру речних токова Саве, Колубаре и Тамнаве које карактерише меандрирање и флувијална ерозија, па се у долинама ових река најчешће налазе млада земљишта. У нижим деловима (где се налази ТЕНТ-А) заступљено је алувијално земљиште и иловасто земљиште на ритској црници, које има базну реакцију (Kostić, 2014). На овом подручју издваја се биом јужноевропских листопадних шума водоплавног и низијског типа. Карактеристичне су заједнице лужњака и жутиловке, шуме лужњака и граба и шуме топола и врба (Kostić, 2014).

Шест блокова ТЕНТ-А са укупном снагом од 1820 MW годишње производи око 8 милијарди киловат сати електричне енергије и највећи је произвођач електричне енергије у Србији и Југоисточној Европи. Годишње ТЕНТ-А сагорева 12-14 Mt лигнита, угља који се снабдева из површинских копова Колубара-Тамнава. Хемијска анализа електрофилтера пепела на ТЕНТ-А показала је да пепео садржи SiO<sub>2</sub> (54.21%), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (24.98%), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (6.13%), CaO (5.89%), MgO (3.15%), K<sub>2</sub>O (1.12%), Na<sub>2</sub>O (0.29%), TiO<sub>2</sub> (0.69%), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0.07%) и SO<sub>3</sub> (0.96%) (Институт за нуклеарне науке Винча, Београд, Србија).

Пепелиште ТЕНТ-А је сада покривено са више од 66 x 106 t летећег пепела који заузима око 400 ha пољопривредног земљишта, типа флувисол. Летећи пепео је хидраулично транспортован у суспензији са водом у односу 1:10 или 1:20. Депозиција

летећег пепела је извршена на три лагунае, једна је активна (L<sub>2</sub>), а друге две су у фази привременог режима техничке консолидације летећег пепела и дренаже (L<sub>1</sub> и L<sub>3</sub>).



Слика 17. Депонија пепела ТЕНТ-А (фото: Ф. Грбовић)

Хемијске анализе супстрата са депоније пепела ТЕНТ-А указале су на веома мале концентрације укупног N (<0.05%, Dželetović & Filipović, 1995), доступног фосфора и калијума (0.05–0.2% и 0.5–0.7%, Simonović, 2003), високе концентрације бора (B), као и дефицит бабра и мангана (Pavlović *et al.*, 2004). Садржај укупног угљеника, пореклом од несагорелог угља, варирао је између 0.7 – 1% (Filipović *et al.*, 1993).

Депонија пепела представља површински извор загађења ваздуха и земљишта, те се у циљу спречавања ерозије пепела са депонија примењују методе заштите: одржавање воденог огледала у активној лагуни, као и квашење насипа водом из топова и прскача. Поред физичких и хемијских метода, у циљу редукације негативних утицаја летећег пепела на животну средину, ТЕНТ-А је спровео и биолошку рекултивацију, која је обухватила је сађење легуминоза (*Medicago sativa* L., *Lotus corniculatus* L., *Vicia villosa* Roth., *Trifolium pratense* L.) и трава (*Secale cereale* L., *Lolium multiflorum* Lam., *Festuca rubra* L., *Dactylis glomerata* L.), као и сађење дрвенастих врста (*Robinia pseudoacacia* L., *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle) и жбунова (*Tamarix* sp.). Формирана



зељаста и дрвенаста вегетација на пепелишту је током времена допринела природној сукцесији и ревегетацији пепелишта. У равном делу лагуне L<sub>1</sub> спонтано су се развиле неке зељасте, жбунасте и дрвенасте биљке: *Calamagrostis epigejos* L., *Oenothera biennis* L., *Sorghum halepense* (L.) Pers., *Erigeron canadensis* L., и *Amorpha fruticosa* L. Узорковање контролног и ризосферног супстрата, као и листова и стеље *R. pseudoacacia*, *A. altissima* и *A. fruticosa* извршено је на пасивној лагуни L<sub>1</sub> (Слика 18, 19 и 20).



Слика 18. *Robinia pseudoacacia* L. на депонији пепела ТЕНТ-А (фото: Ф. Грбовић)



Слика 19. *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle на депонији пепела ТЕHT-A

Поред *R. pseudoacacia*, *A. altissima* и *A. fruticosa*, најчешће врсте које су забележене на депонији пепела ТЕHT-A биле су *Carlina vulgaris* L., *Conyza canadensis* (L.) Cronq., *Echium italicum* L., *Euphorbia cyparissias* L., *Linaria vulgaris* Miller, *Phalaris arundinacea* L., *Populus alba* L., *Populus nigra* L., *Quercus robur* L., *Rosa canina* L., *Rubus caesius* L., *Silene latifolia subsp. alba* (Miller) Greuter & Burdet, *Silene vulgaris* (Moench) Garcke, *Sinapis arvensis* L. и *Sorghum halepense* (L.) Pers.



Слика 20. *Amorpha fruticosa* L. на депонији пепела ТЕНТ-А (фото: Ф. Грбовић)

### 4.1.3. Јаловиште азбеста (Страгари)

Јаловиште рудника азбеста „Страгари“ (44°09' N, 20°40' E), који је затворен више од две деценије, налази се у месту Котража (општина Крагујевац, Шумадијски управни округ), на надморској висини 227-290 m. Клима овог подручја је умерено-континентална. Одликују је хладне зиме и топла лета – најхладнији месец је јануар, а најтоплији јул. Највише падавина је у мају и јуну, а најмање у фебруару. Сума годишњих падавина износи 550 mm. Највећа влажност ваздуха је у децембру, а најмања у септембру. Најчешће дувају југозападни и северозападни ветрови. Кошава дува у периоду јануар – март.

Геолошку подлогу овог локалитета чине серпентини и серпентинисани перидотити, јурске старости. На овом локалитету је процесом метаморфозе настао серпентинисани азбест, на коме је лоцирано велико јаловиште флотације азбеста у виду свежих наслага азбеста (Branković, 2014; Đurić, 1979; Tatić *et al.*, 1981). Страгарачки азбест (хризотилни тип „кожаста азбест“, сребрнасте боје,  $8\text{MgO} \times 2\text{SiO}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$ ) присутан је у виду превлака, сочивастих тела, а азбестна влакна се међусобно преплићу. Интензивна експлоатација азбеста је почела у току 50-их година прошлог века, али је трајала само 40 година, након чега је експлоатација обустављена и рудник затворен. Поред рудника је формирана депонија азбестне јаловине, која је настала као крајњи (отпадни) продукт прераде руде азбеста.

Према педолошкој карти Србије природно земљиште овог локалитета припада типу смеђих киселих земљишта на пешчару. Земљишта која су природно настала на серпентинима због својих физичких карактеристика (велика инсолација, лоша текстура, температурна колебања и мали водни капацитет) представљају неповољну средину за раст и развој биљака (Branković, 2014; Brooks, 1987; Kruckeberg, 2002; Brady *et al.*, 2005). Јаловина азбеста, која се вештачким путем депоновала као продукт обраде руде азбеста, припада класи антропогених (техногених) земљишта, а по типу је депосол.

Према Jovanović *et al.* (1986) природну потенцијалну вегетацију Страгара чине шуме сладуна и цера (*Quercetum frainetto-cerris* Rudski 1949), које окружују остатке рудника и јаловишта азбеста. Иако је рудник азбеста „Страгари“ затворен пре више од две деценије, процес спонтане обнове вегетације депоније азбеста одвија се веома споро и главни делови јаловишта представљају биолошки празан простор претежно огољен и избраздан. У циљу обнове вегетације јаловишта азбеста вршено је пошумљавање црним бором (*Pinus nigra* L.). На средишњем делу јаловишта јављају се појединачни примерци као и састојине врсте *R. pseudoacacia*, једине дрвенасте врсте која спонтано успева у најсуровијим деловима овог станишта (Слика 22). Неке од зељастих биљних врста које спонтано расту на јаловишту азбеста су: *Alyssum murale* Waldst. et Kit., *Artemisia absinthium* L., *Chrysopogon gryllus* (L.) Trin., *Eryngium serbicum* Pančić, *Euphorbia cyparissias* L., *Helleborus odoratus* Waldst et Kit. in Willd., *Medicago sativa* L., *Melica ciliata* L., *Potentilla cinerea* Chaix ex Vill., *Sanguisorba minor* Scop., *Saponaria officinalis* L., и *Trifolium pratense* L.



Слика 21. Јаловиште азбеста Страгари (фото: Ф. Грбовић)



Слика 22. *Robinia pseudoacacia* L. на јаловишту азбеста Страгари (фото: Ф. Грбовић)

#### 4.1.4. Кречњачко станиште (Крш – Велики Шењ)

Локалитет Крш – Велики Шењ (44° 06' N, 20° 44' E) (општина Крагујевац, Шумадијски управни округ), са ког су прикупљени узорци земљишта, стеље и биљног материјала *A. altissima*, представља терен на ободу површинског копа на коме се врши експлоатација кречњака. Локалитет се налази на надморској висини од 546 до 555 m (Слика 23). Место Велики Шењ се налази на обронцима планине Рудник. Специфичност овог краја је његов кречњачки рељеф – крш као и бројни извори топле воде. Климатске карактеристике овог подручја сличне су као на локалитету Страгари.



Слика 23. Кречњачко станиште (Крш – Велики Шењ) (фото: Ф. Грбовић)

Геолошку подлогу чине кречњаци и лапорци, настали у горњој креди. Земљиште овог локалитета је плитка гајњача. За овај тип станишта се може рећи да је ксеротермно, јер је земљиште плитко, смеђе до црвенкасте боје, и лако је пропустљиво за воду (Бранковић, 2014). Природну потенцијалну вегетацију овог локалитета чине шуме сладуна и цера (*Quercetum frainetto-cerris* Rudski 1949) (Jovanović et al., 1989).

На испитиваном локалитету Крш – Велики Шењ врста *A. altissima* изграђује заједнице на ободу копа, на плиткој гајњачи као и на ситним остацима кречњака, који настају као крајњи производ експлоатације кречњачке стене (Слика 24). На овим ситним остацима кречњака формиран је плитак слој земљишта на коме *A. altissima* успева у форми дрвећа, као и у жбунастој форми на стрмим деловима терена. Око самог

локалитета налази се фрагментирана шума сладуна и цера, док се ка југу и југозападу простиру обрадиве површине под пољопривредним културама. Поред *A. altissima* на кречњачком станишту Крш – Велики Шењ забележене су следеће биљне врсте: *Aristolochia clematitidis* L., *Clematis vitalba* L., *Euphorbia cyparissias* L., *Fraxinus ornus* L., *Physalis alkekengi* L., *Potentilla reptans* L., *Quercus cerris* L., *Rosa canina* L. и др.



Слика 24. *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle на на кречњачком станишту Крш – Велики Шењ (фото: Ф. Грбовић)



#### 4.1.5. Алувијални нанос Велике Мораве (Багрдан)

Локалитет Велика Морава – Багрдан (44°05' N, 21°11' E) налази се на левој обали Велике Мораве, на надморској висини у опсегу од 103 – 108 m (Слика 25). Место Багрдан припада општини Јагодина и Поморавском управном округу и смештено је на левој обали Велике Мораве, и на доњем току реке Осаонице, која се у атару овог села улива у Велику Мораву. Багрдан се налази на северном завршетку Багрданског теснаца (клисуре) која раздваја две котлине. Клима овог подручја је умерено континентална, са хладним зимама и топлим летима. Средња годишња температура је 11,2 – 11,7 °С, а укупна годишња количина падавина у просеку износи 619 mm. Релативна влажност ваздуха се креће од 64 до 71% и највећа је у току зиме, док је у летњим месецима најнижа.



Слика 25. Алувијални нанос Велике Мораве (Багрдан) (фото: Ф. Грбовић)

Геолошку подлогу испитиваног локалитета представљају шљункови и пескови. На овом локалитету, као и у већем делу долине Велике Мораве, постоји велики број формираних и пространих наноса, који су се формирали у процесу акумулације седимената на местима вијугавог тока реке. Ови наноси садрже низ терасастих слојева, који су изграђени од финих седимената нанетих плављењем (Marković & Borisiak, 1995). На оваквој геолошкој подлози формирало се земљиште типа флувисол (рецентни алувијални нанос) који је некарбонатан. Флувисоли припадају класи неразвијених земљишта, али и поред тога они обично имају високу плодност, јер се на њима формирају шуме врба и топола и заједнице трава, па се код њих може јавити зачетак хумусног хоризонта (Ćirić, 1991).

Климатогене заједнице на испитиваном локалитету су шума врба и топола (*Salici-Populetum nigrae* Parabućski 1972), које су широко распрострањене у алувијалним равнинама скоро свих наших средњих и већих река, а настале су на рецентним алувијалним наносима. Одлучујући еколошки фактори у изградњи и динамици крајречних биљних заједница су високе подземне воде и периодичне годишње поплаве. Ове биљне заједнице карактерише веома изражена разноврсност и променљивост, због велике динамике водених токова и неуједначених едафских услова. У шумама врба и топола у спрату дрвећа су доминантне: *Salix alba* L., *Populus nigra* L., *Populus alba* L., *Ulmus effusa* Willd., а у спрату жбуња *Amorpha fruticosa* L., *Frangula alnus* Mill. и др. У спрату приземне флоре бројне су врсте: *Rubus caesius* L., *Urtica dioica* L., *Calystegia sepium* (L.) R. Br., *Leucioium aestivum* L., *Stellaria media* L. (Will.), *Solanum dulcamara* L., *Iris pseudacorus* L. и др. (Tomić & Rakonjac, 2013).

Marković & Borisiak (1995) уочили су да у долини Велике Мораве највећи интензитет ширења алохтоних врста постоји у средишњем делу речног наноса, а највећу експанзију показују врсте *Echinocystis lobata* (Michx.) Torr. & A. Gray, а да су врсте *Amorpha fruticosa* L. и *Bidens frondosa* L. формирале своје ксеноспонтане заједнице. На испитиваном локалитету, аутори су детектовали шикаре *A. fruticosa*, чије је присуство потврђено теренским истраживањима у оквиру ове дисертације (Слика 26). Ове заједнице су обично затворене, ређе отворене и раштркане, 1 до 3 m високе листопадне жбунасте заједнице у којима доминира врста *A. fruticosa*, коју прате други хигрофилни жбунови и ниско дрвеће, као и бројне хигрофилне и ритске зељасте биљке (Lakušić *et al.*, 2005). Ове шикаре се могу одржавати и на местима где се вода у подлози задржава током читаве године. Шикаре *A. fruticosa* у долини Велике Мораве имају значајну флористичку везу са алувијалном вегетацијом, а норочито су повезане са стаништима типичне форме *Salici-Populetum*, као и са *Salici-Populetum cornetosum* (Marković & Borisiak, 1995).

Врсте које су најприсутније у шикарама багремца на обали Велике Мораве (Багрдан) биле су: *A. fruticosa*, *R. caesius*, *Galium aparine* L., *Aristolochia clematidis* L. и *Agropyron repens* (L.) Gould. Такође, присутне али са мањом бројношћу су и следеће врсте: *Poa palustris* L., *Clematis vitalba* L., *Fraxinus excelsior* L., *Physalis alkekengi* L., *Phytolacca americana* L. и *Setaria viridis* (L.) P. Beauv. На овом локалитету узоркован је контролни и ризосферни супстрат, као и листови и стеља врсте *A. fruticosa* из шикара где је доминација ове врсте била веома изражена. То су прогале и пролази у оквиру крајречних шума врба и топола, као и делови терена на одређеној удаљености од обале Велике Мораве, који су периодично плављени и у којима је ниво подземне воде био довољно висок како би *A. fruticosa* формирала густе састојине.



Слика 26. *Amorpha fruticosa* L. на алувијалном наносу Велике Мораве (Багрдан)  
(фото: Ф. Грбовић)

## 4.2. Узорковање супстрата и биљног материјала

Теренска истраживања, сакупљање контролног и ризосферног супстрата, листова и стеље испитиваних биљних врста обављено је у току 2016. године у три сезонска пресека (јун, август и октобар). Локалитети за теренска истраживања одабрани су у односу на природне вредности подручја и станишта као и степен антропогеног утицаја. Препознавање типова станишта на терену је извршено уз помоћ приручника: „Станишта Србије – приручник са описима и основним подацима“ (Lakušić *et al.*, 2005). На истраживаним локалитетима у којима су констатоване изабране инвазивне врсте биљака одређене су основне физичке карактеристике станишта (надморска висина, експозиција, геолошка подлога и тип земљишта) и направљене дигиталне фотографије јединки и састојина одабраних инвазивних врста биљака.

Сакупљање узорка супстрата за одређивање хемијских карактеристика, укупног садржаја хемијских елемената, садржаја фенолних једињења и одређивање инхибиторне активности алелохемикалија из супстрата испитиваних биљака обављено је на дубини од 0 до 20 cm у три сезонска аспекта (јун, август и октобар) (Слика 27). Ризосферни супстрат прикупљан је из оних микрокомплекса са комплетном доминацијом испитиваних биљних врста (*R. pseudoacacia*, *A. altissima* и *A. fruticosa*) и одсуством других врста, у непосредној близини корена испитиваних врста. Контролни супстрат прикупљан је на одређеној раздаљини од испитиваних биљака у зонама без биљног покривача. Из узорка контролног и ризосферног супстрата (око 1 kg) су прво уклоњени делови стена, крупни комади земљишта као и видљиви биљни остаци, након чега су узорци сушени до ваздушно-сувог стања. Након сушења, средња проба супстрата је просејана на ситима промера 2 mm, и у том облику је супстрат био спреман за даље хемијске и биохемијске анализе, као и за алелопатске биотестове.

Сакупљање узорка биљног материјала (листови и стеља) за потребе одређивања садржаја хемијских елемената, концентрације фенолних једињења, као и инхибиторне активности алелохемикалија из листова и стеље испитиваних биљака, обављено је у три сезонска аспекта (јун, август и октобар). Узорци биљног материјала прикупљани су са више јединки, по методи случајног узорка и обједињени у збирни узорак за сваку од испитиваних биљних врста (*R. pseudoacacia*, *A. altissima* и *A. fruticosa*) и сваки од сезонских аспекта (јун, август и октобар). Са површине биљног материјала су прво отклоњени сви остаци прашине и супстрата, након чега су узорци осушени до ваздушно-сувог стања, уситњени у лабораторијском млину и просејани кроз сита промера 2 mm. Хербаризован биљни материјал депонован је у хербаријуму Института за биологију и екологију Природно-математичког факултета, Универзитета у Крагујевцу. Детерминација прикупљеног биљног материјала обављена је коришћењем стандардне литературе за идентификацију васкуларних биљака (Josifović, 1970 – 1980; Tutin *et al.*, 1964 – 1993).



Слика 27. Узорковање супстрата и биљног материјала на различитим стаништима (фото: Ф. Грбовић)

### 4.3. Хемијске и биохемијске анализе супстрата и биљног материјала

#### 4.3.1. Одређивање хемијских карактеристика супстрата

Хемијске карактеристике узорка контролног и ризосферног супстрата испитиваних врста на различитим стаништима обухватиле су одређивање киселости – активне ( $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ ) и супституционе ( $\text{pH}(\text{KCl})$ ), садржаја укупног угљеника ( $\text{C}$ ) и азота ( $\text{N}$ ), односа  $\text{C/N}$ , као и доступних облика фосфора ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) и калијума ( $\text{K}_2\text{O}$ ). Активна и супституциона киселост мерени су у дестилованој води ( $\text{dH}_2\text{O}$ ) и  $0.1 \text{ M KCl}$  уз помоћ пехаметра (РНТ-026 Multi-function meter). Садржај укупног угљеника одређен је мокрим сагоревањем у смеси калијум дихромата и сумпорне киселине по методи Тјурина (Turin, 1965) и модификацији Симакова (Džamić *et al.*, 1996). Садржај азота одређен је дигестијом узорка супстрата у концентрованој сумпорној киселини уз присуство катализатора и дестилацијом амонијака по Кјелдаху (Jones, 2001). Однос  $\text{C/N}$  је добијен прерачуном. Доступне форме фосфора ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) и калијума ( $\text{K}_2\text{O}$ ) анализирани су коришћењем стандардне методе амонијум лактата/ацетатне киселине (AL method) (Egner *et al.*, 1960).

### 4.3.2. Утврђивање концентрације хемијских елемената у супстрату и биљном материјалу

У узорцима супстрата (контролни и ризосферни) и биљног материјала (листови и стеља) одређиване су концентрације хемијских елемената: Cr, Cu, Fe, Mn, Ni и Zn. За анализу садржаја хемијских елемената у супстрату и биљном материјалу коришћен је атомски апсорпциони спектрофотометар (ААС, “Perkin Elmer 3300”) са ваздушно-ацетиленским пламеном (2.0:10.0), коришћењем D2 лампе као позадинског коректора; Mn ( $\lambda = 279.8$  nm), Ni ( $\lambda = 232.0$  nm), Fe ( $\lambda = 248.3$  nm), Zn ( $\lambda = 213.9$  nm), Cu ( $\lambda = 324.8$  nm) и Cr ( $\lambda = 357.9$  nm). За припрему калибрационих дијаграма, коришћени су стандардни раствори одговарајућих концентрација. Опсег концентрација тестираних елемената у стандардним растворима био је 0.5 – 2.0 mg l<sup>-1</sup> за Cr, Cu, Zn и Ni, као и 1.0–5.0 mg l<sup>-1</sup> за Mn и Fe. После сушења узорака супстрата и биљног материјала, одређена количина припремљеног материјала за хемијске анализе (3 g супстрата и 2 g биљног материјала) је мерена на аналитичкој ваги са тачношћу  $\pm 0,1$  mg. Дигестија супстрата и биљног материјала рађена је са HNO<sub>3</sub> и HClO<sub>4</sub> (EPA, 1996; EPA, 1998). За припрему калибрационих дијаграма коришћени су стандардни раствори. Сваки узорак је прочитан у пет понављања. Измерене вредности хемијских елемената у супстрату и биљном материјалу су изражене у микрограмима по граму суве масе ( $\mu\text{g g}^{-1}$  d.w.). За детерминацију садржаја хемијских елемената у супстрату и биљном материјалу, коришћене су хемикалије аналитичке чистоће (“Sigma-Aldrich”): 65 % HNO<sub>3</sub> и 70% HClO<sub>4</sub> су коришћене у сврху дигестије узорка. Стандардни раствор “Acros Organics Standard (USA)”, концентрације 1000  $\mu\text{g ml}^{-1}$  коришћен је за детерминацију калибрационе криве за одговарајуће хемијске елементе.

### 4.3.3. Детерминисање садржаја фенолних једињења у супстрату и биљном материјалу

Фенолна једињења су екстрахована растварањем 10 g сувог земљишта у 30 ml чистог метанола (99.8%) у ултразвучном купатилу (15 минута), а затим је раствор остављен још 24 h. Екстракција фенолних једињења из стеље и листова испитиваних врста је спроведена растварањем 1 g ваздушно суве стеље и листова у 10 ml чистог метанола (99.8%) у ултразвучном купатилу (15 минута) и након тога је раствор остављен 24 h. Растворени узорци су потом центрифугирани 20 минута на 1000 x g, а супернатанти филтрирани кроз целулозне филтере промера 0.2  $\mu\text{m}$  (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA) и чувани на 4 °C до употребе.

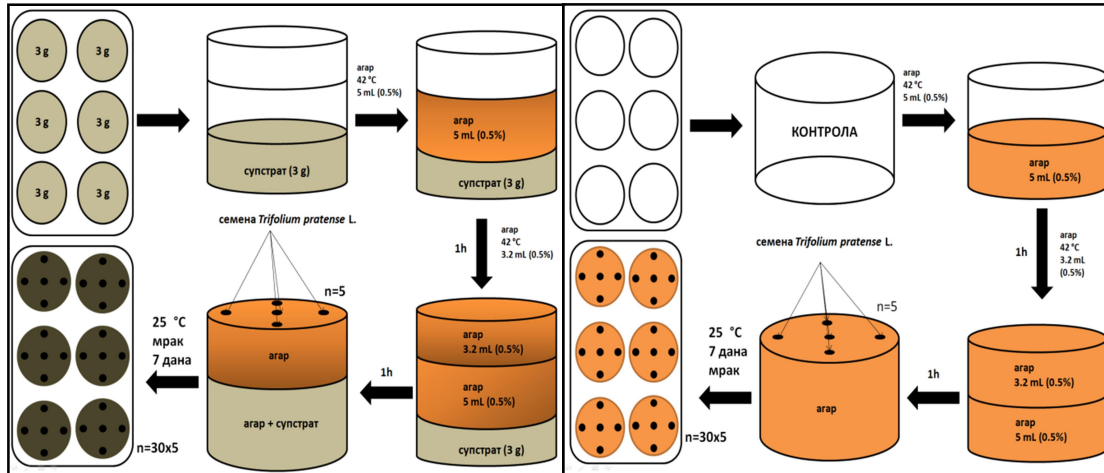
Течни хроматограф високих перформанси (HPLC; Shimadzu, Kyoto, Japan), који се састоји од дегазера DGU-20A3, аналитичких пумпи LC-20AT, 7125 ињектора и SPD-M20A диодног детектора низа и CBM-20A системског контролера, коришћен је за квантитативну и квалитативну анализу фенолних једињења у супстрату и биљном материјалу. Сепарација је остварена на Luna C18 колони на 30 °C, 250  $\times$  4.6 mm I.D., 5  $\mu\text{m}$  (Phenomenex, Torrance, CA, USA) са брзином протока од 1.0 ml min<sup>-1</sup>. Ињекциона запремина била је 20  $\mu\text{l}$ . Хроматографски подаци су процесуирани уз помоћ LC Solution компјутерског програма (Shimadzu). Коришћено је градијентно испирање (5 % В 0–5 min, градијент 5–60 % В током 5–30 min, 60 % В држано 5 min, затим подигнуто од 60 % до 90 % В за 2–3 min и уравнотежено наредних 5 min; мобилна фаза – А: вода закишељена мрављом киселином, pH 3, В: ацетонитрил). Идентитет супстанци детерминисан је упоређивањем ретенционог времена и апсорпционог максимума познатих пикова са чистим стандардима (Sigma) на 290 и 245 nm. Четири различите

фенолне киселине су коришћене као стандарди: 3-хидроксибензојева киселина (3-НВА), 3,5 – дихидроксибензојева киселина (3,5-ДНВА), ферулинска киселина и *n*-кумаринска киселина и једно једињење из групе флавоноида – рутин. Концентрације фенолних једињења изражена су у микрограмима по граму суве масе ( $\mu\text{g g}^{-1} \text{ d.w}$ ). За HPLC анализу коришћен је ацетонитрил (J.T. Baker, Deventer, The Netherlands), и мравља киселина (Merck, Darmstadt, Germany). Квантификација је базирана на екстерној калибрацији пречишћених стандарда флавоноида (рутин) и полифенолних киселина (3-НВА, 3,5-ДНВА, ферулинска и *n*-кумаринска киселина) (Sigma Aldrich Company, St. Louis, MO, USA). Сви реагенси су били HPLC чистоће. Као растварач коришћен је метанол (Zorka Pharma, Шабац, Србија).

#### 4.4. Алелопатски биотестови

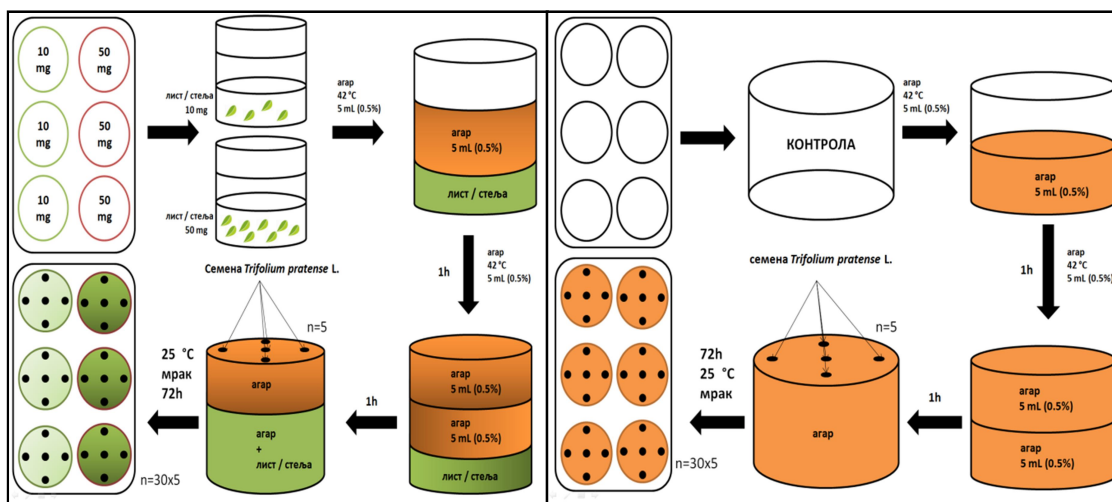
Лабораторијски алелопатски биотестови (биосеји) се користе за индикацију и демонстрацију алелопатске активности биљака у контролисаним условима. Циљ алелопатских биотестова је утврђивање инхибиторног или стимулаторног ефекта алелохемикалија пореклом из биљних органа, стеље и земљишта. Ова активност се најчешће утврђује кроз проценат клијавости и проценат раста коренка и хипокотила индикаторске врсте у третману у односу на контролу. Избор индикаторске врсте у алелопатском биотесту веома је важан аспект. Најчешће коришћена врста у алелопатским биотестовима је зелена салата (*Lactuca sativa* L). Међутим, посебну пажњу треба посветити симулирању природних услова у станишту и обрасцима животних циклуса алелопатских биљака, током дизајнирања лабораторијских биосеја. Зато, у лабораторијским експериментима, врсте које коегзистирају у природним условима са доворском врстом треба да имају предност приликом бирања индикаторских (акцепторских) врста (Inderjit & Dakshini, 1994). Зато је у истраживањима у оквиру ове докторске дисертације као индикаторска врста изабрана црвена детелина (*Trifolium pratense* L), космополитска врста која се среће у различитим природним и антропогено измењеним екосистемима.

Сендвич метода са агаром, која је коришћена као алелопатски биотест у истраживањима у оквиру ове докторске дисертације, омогућава да се истражи алелопатска активност испирајућих материја из различитих биљних органа, користећи агар као подлогу и плејтове са шест комора (Fujii, 2003). Пречник сваке коморе је 36 mm, а дубине 18 mm. Инхибиторна активност контролног и ризосферног супстрата испитиваних врста је индикована кроз модификовани алелопатски биотест „сендвич метода са ризосферним земљиштем“ (Fujii & Furubayashi, 2005). У експерименту, 5 ml аутоклавираног агара (0.5%) охлађеног до 42 °C додавано је у плејтове са 6 комора, у којима је претходно одмерен супстрат (3 g сувог сувог супстрата у сваку комору). Након учвршћивања, још 3.2 ml агара (0.5%) додато је на слој агар-земљиште. Након 1h, по 5 семена индикаторске врсте *T. pratense* додато је на површину учвршћеног агара у сваку комору (30 семена по плејту). Контролни плејтови садржали су само агарозну подлогу (без земљишта). Плејтови су инкубирани у мраку на 25 °C у термостату. Након 7 дана, мерена је дужина коренка *T. pratense* и одређиван је проценат инхибиције раста у односу на контролу. Биотестови су одрађени у 5 понављања x 3 сезоне (30 семена по плејту,  $n=30 \times 5 \times 3=450$ ) (Слика 28).



Слика 28. Алелопатски биоесеј – сендвич метода са ризосферним земљиштем (према Fujii & Furubayashi, 2005).

Алелопатска активност испирајућих материја из листова и стеље испитиваних биљних врста детерминисана је уз помоћ модификоване „сендвич методе“ (Fujii, 2004). У овом експерименту, 5 ml аутоклавираног агара (0.5%) је охлађено до 42 °C и додато у плејтове са 6 комора, у којима је претходно измерено 10 mg (3 коморе) и 50 mg (3 коморе) осушеног биљног материјала (листова/стеље) испитиваних врста. Након учвршћивања, још 5 ml агара (0.5%) је додато на претходно припремљен слој агар-биљни материјал. Након 1 h, по 5 семена индикаторске врсте *T. pratense* додато је на учвршћен агар у сваку комору (30 семена по плејту). Контролни плејтови садржали су само чист агар. Плејтови су инкубирани на 25 °C у мраку у термостату. Након 3 дана, мерена је дужина коренка индикаторске врсте *T. pratense* и одређиван је проценат инхибиције раста (у односу на контролу). Мерења су вршена уз помоћ дигиталног шублера (нонијуса) са прецизношћу од  $10^{-2}$  mm. Биотестови су изведени у 5 понављања x 3 сезоне (30 семена по плејту,  $n=30 \times 5 \times 3=450$ ) (Слика 29).



Слика 29. Алелопатски биоесеј – сендвич метода са листовима/стељом (према Fujii, 2004)



Алелопатска активност је детерминисана као средња вредност инхибиције раста индикаторске врсте *T. pratense* (IR %) у биотестовима са листовима и стељом на две различите концентрације:

$$IR\% = (IR_{10} + IR_{50}) / 10$$

$IR_{10}$  – проценат инхибиције раста коренка у односу на контролу, на концентрацији 0.1% (10 mg листова / стеље у 10 ml агара).

$IR_{50}$  – проценат инхибиције раста коренка у односу на контролу, на концентрацији 0.5% (50 mg листова / стеље у 10 ml агара).

Процент инхибиције раста коренка је израчунат из формуле (Othman *et al.*, 2012):

$$\% \text{ инхибиције раста} = 100 * (R_c - R_t) / R_c,$$

где  $R_c$  представља дужину раста коренка контроле а  $R_t$  дужину раста коренка из третмана.

## 4.5. Статистичка обрада података

Статистичка анализа обухватала је одређивање средње вредности (M), стандардне девијације (SD), минималних и максималних вредности за сваки од анализираних параметара код испитиваних биљних врста на различитим стаништима. Двофакторска анализа варијанси (factorial ANOVA) коришћена је у циљу утврђивања значајности утицаја фактора (врста, станиште, тип супстрата, тип биљног материјала) на варијабилност хемијских карактеристика супстрата, садржаја хемијских елемената у супстрату, листовима и стељи, садржаја фенолних једињења у супстрату, листовима и стељи испитиваних врста биљака, као и утицаја на варијабилност инхибиције раста коренка индикаторске врсте у биотестовима са супстратом, листовима и стељом испитиваних врста биљака ( $p < 0.05$ ). За утврђивање разлике између појединачних група (врста, станишта, типа супстрата и типа биљног материјала) у погледу хемијских карактеристика супстрата, садржаја хемијских елемената, садржаја фенолних једињења, као и инхибиције раста коренка индикаторске врсте коришћен је Шефеов тест (Scheffe's post-hoc test) ( $p < 0.05$ ). Корелације између анализираних параметара детерминисане су уз помоћ Пирсоновог коефицијента корелације (Pearson correlation coefficients – r) ( $p < 0.05$ ).

Анализа главних компоненти (Principal Component Analysis – PCA) коришћена је како би се детектовале променљиве које највише доприносе разликама (раздвајању) истраживаних група и да се сагледају тенденције, структуре индивидуа и структуре својстава. Ова метода је примењена на сету од 19 променљивих код анализе супстрата испитиваних врста биљака – хемијских карактеристика супстрата (7), хемијских елемената у супстрату (6), фенолних једињења у супстрату (5) и вредности инхибиције раста коренка индикаторске врсте *T. pratense* (1) и 12 варијабли код анализе листова и стеље испитиваних врста – садржаја хемијских елемената у листовима и стељи (6), фенолних једињења у листовима и стељи (5) и инхибицији раста коренка индикаторске врсте *T. pratense* у биотестовима са листовима и стељом испитиваних биљних врста (1).

Статистичка анализа је спроведена уз помоћ софтверског пакета STATISTICA (Version 10.0, StatSoft, Inc., Tulsa, OK, USA, 2011).

## **5. Резултати**

---

## 5.1 Хемијске карактеристике супстрата испитиваних врста биљака на различитим стаништима

### 5.1.1. Хемијске карактеристике супстрата *Robinia pseudoacacia* на различитим стаништима

На основу двофакторске анализе варијансе (factorial ANOVA) уочено је да на разлике у вредностима рН (H<sub>2</sub>O) и рН (KCl), као и на садржај С, N, однос C/N, садржај доступних облика фосфора (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) и калијума (K<sub>2</sub>O) статистички значајан утицај имају станиште (p<0.001) и тип супстрата (контролни/ризосферни) (p<0.05, p<0.001, p<0.001, p<0.001, p<0.001, p<0.001), при чему је утицај станишта био израженији од типа супстрата (Табела 2).

**Табела 2.** Утицај станишта и типа супстрата (контролни/ризосферни) на варијабилност хемијских карактеристика супстрата *R. pseudoacacia*

Параметар	Станиште		Тип супстрата		Станиште * Тип супстрата	
	F	p	F	p	F	p
рН (H <sub>2</sub> O)	44.340	***	5.320	*	23.650	***
рН (KCl)	78.620	***	12.420	***	25.330	***
С (%)	516.766	***	231.783	***	174.591	***
N (%)	101.175	***	46.963	***	1.607	ns
C/N	157.581	***	34.014	***	34.380	***
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	216.286	***	18.526	***	6.775	**
K <sub>2</sub> O (mg/100g)	7771.400	***	35.710	***	47.310	***

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA), \* p<0.05, \*\* p <0.01, \*\*\* p<0.001, ns – нема статистичке значајности

Резултати анализе хемијских карактеристика контролног и ризосферног супстрата *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре, са депоније пепела ТЕНТ-А и са јаловишта азбеста Страгари приказани су у Табели 3. Статистички значајно већи садржај N имао је ризосферни супстрат *R. pseudoacacia* у односу на контролни супстрат из Делиблатске пешчаре (p<0.05). Разлике у вредностима рН (H<sub>2</sub>O) и рН (KCl), у садржају С, N, K<sub>2</sub>O, као и у односу C/N између контролног супстрата и ризосферног супстрата *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре нису биле статистички значајне (ns). Вредности рН (H<sub>2</sub>O) и рН (KCl) биле су веће код ризосферног супстрата у односу на контролни супстрат са депоније пепела ТЕНТ-А (p<0.001). Такође, код ризосферног супстрата утврђене су веће вредности С, N, C/N (p<0.001), као и већи садржај доступних облика фосфора (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) и калијума (K<sub>2</sub>O) у односу на контролни супстрат депоније пепела ТЕНТ-А (p<0.001). На јаловишту азбеста Страгари нису утврђене статистички значајне разлике у рН вредностима између контролног и ризосферног супстрата. На јаловишту азбеста не постоје статистички значајне разлике у садржају С, N, односу C/N, као и у доступном садржају фосфора (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) и калијума (K<sub>2</sub>O) између контролног супстрата и ризосферног супстрата *R. pseudoacacia*.

Табела 3. Хемијске карактеристике контролног и ризосферног супстрата *R. pseudoacacia* на различитим стаништима

Параметар Делиблатска пешчара	Контролни супстрат		Ризосферни супстрат	
	М (SD)	Мин.-Макс.	М (SD)	Мин.-Макс.
рН (H <sub>2</sub> O)	7.98 (0.026) ns	7.95-8.01	7.90 (0.135)	7.78-8.09
рН (KCl)	7.56 (0.022) ns	7.53-7.59	7.49 (0.208)	7.33-7.78
С (%)	1.01 (0.010) ns	1.00-1.02	1.09 (0.094)	0.96-1.19
Н (%)	0.16 (0.001)	0.16-0.16	0.19 (0.017) *	0.17-0.21
С/Н	6.31 (0.055) ns	6.24-6.41	5.76 (0.433)	5.37-6.35
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	54.90 (3.061) ns	50.55-58.49	67.83 (14.954)	45.80-81.40
K <sub>2</sub> O (mg/100g)	53.90 (1.455) ns	51.63-56.10	51.53 (3.853)	46.60-58.80
Депонија пепела (ТЕНТ-А)	М (SD)	Мин.-Макс.	М (SD)	Мин.-Макс.
рН (H <sub>2</sub> O)	6.44 (0.039)	6.38-6.50	7.56 (0.816) ***	6.43-8.18
рН (KCl)	5.27 (0.217)	5.00-5.54	7.07 (1.150) ***	5.53-8.02
С (%)	1.44 (0.019)	1.41-1.46	3.82 (0.484) ***	3.41-4.48
Н (%)	0.11 (0.004)	0.11-0.12	0.15 (0.031) ***	0.12-0.20
С/Н	12.97 (0.394)	12.00-13.27	26.51 (6.843) ***	18.33-34.81
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	10.01 (0.014)	8.02-12.06	19.57 (11.239) ***	7.80-34.10
K <sub>2</sub> O (mg/100g)	182.60 (2.240)	179.23-185.85	208.30 (10.705) ***	195.30-221.12
Јаловиште азбеста (Страгари)	М (SD)	Мин.-Макс.	М (SD)	Мин.-Макс.
рН (H <sub>2</sub> O)	8.13 (0.050) ns	8.06-8.20	7.74 (0.166)	7.51-7.97
рН (KCl)	8.34 (0.055) ns	8.25-8.43	8.01 (0.141)	7.84-8.26
С (%)	0.38 (0.012) ns	0.36-0.40	0.53 (0.142)	0.33-0.66
Н (%)	0.09 (0.009) ns	0.08-0.11	0.11 (0.013)	0.09-0.14
С/Н	4.22 (0.075) ns	4.08-4.36	4.74 (1.068)	3.28-5.85
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	8.40 (0.719) ns	7.00-9.80	10.35 (3.101)	6.83-15.59
K <sub>2</sub> O (mg/100g)	3.60 (0.243) ns	3.20-4.00	3.67 (1.165)	1.95-4.99

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA) и Шефеов тест (Scheffé's post-hoc test); резултати су представљени као М (SD), n=15; Мин. – минималне вредности, Макс. – максималне вредности; \* p<0.05, \*\*\* p<0.001, ns – нема статистички значајних разлика

Резултати упоредне анализе хемијских карактеристика контролног и ризосферног супстрата *R. pseudoacacia* на различитим стаништима приказани су у Табели 4. Резултати указују да је вредност рН (H<sub>2</sub>O) контролног супстрата на

јаловишту азбеста Страгари била већа у односу на контролни супстрат са депоније пепела ТЕНТ-А ( $p < 0.001$ ). Контролни супстрат из Делиблатске пешчаре имао је статистички значајно веће вредности рН у односу на контролни супстрат са депоније пепела ТЕНТ-А ( $p < 0.001$ ). Разлике у вредностима рН ( $H_2O$ ) између контролног супстрата Делиблатске пешчаре и контролног супстрата јаловишта азбеста Страгари нису биле статистички значајне (ns). Резултати упоредне анализе рН (KCl) између испитиваних станишта показују да контролни супстрат на јаловишту азбеста Страгари има веће вредности у односу на контролни супстрат из Делиблатске пешчаре ( $p < 0.05$ ), и са депоније пепела ТЕНТ-А ( $p < 0.001$ ). Измерене вредности рН (KCl) су биле веће код контролног супстрата из Делиблатске пешчаре у односу на контролни супстрат са депоније пепела ТЕНТ-А ( $p < 0.001$ ).

**Табела 4.** Упоредна анализа хемијских карактеристика контролног и ризосферног супстрата *R. pseudoacacia* на различитим стаништима

Параметар	Контролни супстрат		
	Делиблатска пешчара	Депонија пепела (ТЕНТ-А)	Јаловиште азбеста (Страгари)
рН ( $H_2O$ )	a <sup>***</sup> b <sup>ns</sup>	-	c <sup>***</sup>
рН (KCl)	a <sup>***</sup>	-	b <sup>*</sup> c <sup>***</sup>
C (%)	a <sup>ns</sup> b <sup>***</sup>	c <sup>***</sup>	-
N (%)	a <sup>ns</sup> b <sup>***</sup>	c <sup>ns</sup>	-
C/N	b <sup>ns</sup>	a <sup>***</sup> c <sup>***</sup>	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	a <sup>***</sup> b <sup>***</sup>	c <sup>ns</sup>	-
K <sub>2</sub> O (mg/100g)	b <sup>***</sup>	a <sup>***</sup> c <sup>***</sup>	-
Параметар	Ризосферни супстрат		
	Делиблатска пешчара	Депонија пепела (ТЕНТ-А)	Јаловиште азбеста (Страгари)
рН ( $H_2O$ )	a <sup>ns</sup> b <sup>ns</sup>	c <sup>ns</sup>	-
рН (KCl)	a <sup>ns</sup> b <sup>ns</sup>	c <sup>ns</sup>	-
C (%)	b <sup>***</sup>	a <sup>***</sup> c <sup>***</sup>	-
N (%)	a <sup>***</sup> b <sup>***</sup>	c <sup>***</sup>	-
C/N	b <sup>***</sup>	a <sup>***</sup> c <sup>***</sup>	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	a <sup>***</sup> b <sup>***</sup>	c <sup>*</sup>	-
K <sub>2</sub> O (mg/100g)	b <sup>***</sup>	a <sup>***</sup> c <sup>***</sup>	-

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA) и Шефев тест (Scheffé's post-hoc test); (a) Делиблатска пешчара – ТЕНТ-А; (b) Делиблатска пешчара – Страгари; (c) ТЕНТ-А – Страгари; \*  $p < 0.05$ , \*\*\*  $p < 0.001$ ; ns – нема статистички значајних разлика

Статистички значајно веће вредности укупног садржаја угљеника забележене су у контролном супстрату са депоније пепела и Делиблатске пешчаре ( $p < 0.001$ ) у односу на јаловиште азбеста ( $p < 0.001$ ). Разлике у садржају С између контролног супстрата са депоније пепела ТЕНТ-А и Делиблатске пешчаре нису биле статистички значајне (ns). Садржај азота био је статистички значајно већи у контролном супстрату из Делиблатске пешчаре у односу на контролни супстрат са јаловишта азбеста Страгари ( $p < 0.001$ ). Разлике у садржају N у контролном супстрату Делиблатске пешчаре и јаловишта азбеста Страгари, као и између депоније пепела ТЕНТ-А и јаловишта азбеста Страгари нису биле статистички значајне (ns). Однос C/N имао је веће вредности код контролног супстрата са депоније пепела ТЕНТ-А у односу на контролни супстрат из Делиблатске пешчаре ( $p < 0.001$ ) и јаловишта азбеста Страгари ( $p < 0.001$ ). Разлике у односу C/N између контролног супстрата из Делиблатске пешчаре и контролног супстрата са јаловишта азбеста Страгари нису биле статистички значајне (ns).

Садржај  $P_2O_5$  био је статистички значајно већи у контролном супстрату из Делиблатске пешчаре у односу на контролни супстрат са депоније пепела ТЕНТ-А ( $p < 0.001$ ) и јаловишта азбеста Страгари ( $p < 0.001$ ), док разлике у садржају  $P_2O_5$  између контролног супстрата из Делиблатске пешчаре и контролног супстрата са јаловишта азбеста Страгари нису биле статистички значајне (ns). Садржај  $K_2O$  био је статистички значајно већи у контролном супстрату са депоније пепела ТЕНТ-А у односу на контролни супстрат из Делиблатске пешчаре ( $p < 0.001$ ) и јаловишта азбеста Страгари ( $p < 0.001$ ). Садржај доступног  $K_2O$  је био статистички значајно већи у контролном супстрату из Делиблатске пешчаре у односу на контролни супстрат са јаловишта азбеста Страгари ( $p < 0.001$ ).

Разлике у вредностима рН ( $H_2O$ ) и рН (KCl) између ризосферног супстрата *R. pseudoacacia* на депонији пепела ТЕНТ-А, Делиблатске пешчаре и јаловишта азбеста Страгари нису биле статистички значајне (ns). Садржај C, N, као и C/N у ризосферном супстрату *R. pseudoacacia* са депоније пепела ТЕНТ-А били су статистички значајно већи у односу на ризосферни супстрат из Делиблатске пешчаре ( $p < 0.001$ ) и јаловишта азбеста Страгари ( $p < 0.001$ ), осим у случају N, који је имао веће вредности код ризосферног супстрата из Делиблатске пешчаре у односу на ТЕНТ-А ( $p < 0.001$ ). Такође, садржај C, N и однос C/N били су статистички значајно већи у ризосферном супстрату *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре у односу на ризосферни супстрат са јаловишта азбеста Страгари ( $p < 0.001$ ).

Садржај  $P_2O_5$  био је статистички значајно већи у ризосферном супстрату *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре у односу на ризосферни супстрат са депоније пепела ТЕНТ-А ( $p < 0.001$ ) и јаловишта азбеста Страгари ( $p < 0.001$ ). Такође, садржај  $P_2O_5$  био је статистички значајно већи у ризосферном супстрату *R. pseudoacacia* са депоније пепела ТЕНТ-А у односу на ризосферни супстрат са јаловишта азбеста Страгари ( $p < 0.05$ ). Садржај доступних облика калијума ( $K_2O$ ) био је статистички значајно већи у ризосферном супстрату *R. pseudoacacia* са депоније пепела ТЕНТ-А у односу на ризосферни супстрат из Делиблатске пешчаре ( $p < 0.001$ ) и јаловишта азбеста Страгари ( $p < 0.001$ ). Такође, садржај  $K_2O$  био је статистички значајно већи у ризосферном супстрату *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре у односу на ризосферни супстрат са јаловишта азбеста Страгари ( $p < 0.001$ ).

### 5.1.2. Хемијске карактеристике супстрата *Ailanthus altissima* на различитим стаништима

На основу двофакторске анализе варијансе (factorial ANOVA) уочено је да на разлике у вредностима рН (H<sub>2</sub>O) и рН (KCl), као и на садржај доступних облика фосфора (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) и калијума (K<sub>2</sub>O) у супстрату *A. altissima* статистички значајнији утицај има станиште (p<0.001) у односу на тип супстрата. Са друге стране, тип супстрата (контролни/ризосферни) има статистички значајнији утицај на садржај угљеника (C) и азота (N), као и на однос C/N (p<0.001) (Табела 5).

**Табела 5.** Утицај станишта и типа супстрата на варијабилност хемијских карактеристика супстрата *A. altissima*

Параметар	Станиште		Тип супстрата		Станиште * Тип супстрата	
	F	p	F	P	F	p
рН (H <sub>2</sub> O)	<b>347.400</b>	***	36.900	***	58.100	***
рН (KCl)	<b>408.410</b>	***	9.920	**	72.530	***
C (%)	11.246	***	<b>384.266</b>	***	3.188	ns
N (%)	120.4361	***	<b>187.2149</b>	***	135.3338	***
C/N	146.080	***	<b>1397.33</b>	***	5024.98	***
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	<b>232.824</b>	***	8.788	**	13.867	***
K <sub>2</sub> O (mg/100g)	<b>511.901</b>	***	75.498	***	83.025	***

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA), \*\* p<0.01, \*\*\* p<0.001, ns – нема статистичке значајности

Резултати анализе хемијских карактеристика контролног и ризосферног супстрата *A. altissima* (из Делиблатске пешчаре, депоније пепела ТЕНТ-А и кречњачког станишта Крш – Велики Шењ) приказани су у Табели 6. Статистички значајно веће рН вредности (H<sub>2</sub>O и KCl) имао је контролни супстрат из Делиблатске пешчаре (p<0.001), док су значајно веће вредности C, N (p<0.001), као и K<sub>2</sub>O (p<0.01) забележене код ризосферног супстрата *A. altissima* у односу на контролни супстрат из Делиблатске пешчаре. На депонији пепела ТЕНТ-А вредности рН (KCl) биле су статистички значајно веће код ризосферног супстрата *A. altissima* у односу на контролни супстрат (p<0.05). Такође, садржај C, N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O био је статистички значајно већи код ризосферног супстрата *A. altissima* у односу на контролни супстрат са депоније пепела ТЕНТ-А (p<0.001), док су вредности односа C/N биле статистички значајно веће код контролног у односу на ризосферни супстрат *A. altissima* (p<0.001). Статистички значајно веће вредности C, N и C/N, имао је ризосферни супстрат *A. altissima* са кречњачког станишта Крш – Велики Шењ у односу на контролни супстрат (p<0.001, p<0.05, p<0.001). Није било статистички значајних разлика у вредностима рН (H<sub>2</sub>O) и рН (KCl), као и у садржају P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O између контролног супстрата и ризосферног супстрата *A. altissima* са кречњачког станишта Крш – Велики Шењ.

Табела 6. Хемијске карактеристике контролног и ризосферног супстрата *A. altissima* на различитим стаништима

Параметар	Контролни супстрат		Ризосферни супстрат	
	М (SD)	Мин.-Макс.	М (SD)	Мин.-Макс.
<b>Делиблатска пешчара</b>				
рН (H <sub>2</sub> O)	7.98 (0.026) ***	7.95-8.01	7.07 (0.377)	6.58-7.41
рН (KCl)	7.56 (0.022) ***	7.53-7.59	6.56 (0.361)	6.12-6.95
С (%)	1.02 (0.010)	1.00-1.02	4.22 (0.487) ***	3.61-4.72
Н (%)	0.16 (0.001) ns	0.16-0.16	0.51 (0.078) ***	0.42-0.60
С/Н	6.31 (0.055) ns	6.24-6.41	8.37 (0.375)	7.83-8.68
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	54.90 (3.061) ns	50.55-58.49	61.30 (11.488)	49.10-78.00
K <sub>2</sub> O (mg/100g)	53.90 (1.455)	51.63-56.10	87.03 (19.526) **	66.90-114.40
<b>Депонија пепела (ТЕНТ-А)</b>				
рН (H <sub>2</sub> O)	6.44 (0.039) ns	6.38-6.50	6.39 (0.075)	6.34-6.49
рН (KCl)	5.27 (0.217)	5.00-5.54	5.70 (0.154) *	5.51-5.86
С (%)	1.44 (0.019)	1.41-1.46	5.14 (0.965) ***	4.50-6.43
Н (%)	0.11 (0.004)	0.11-0.12	4.92 (1.166) ***	3.84-6.43
С/Н	12.97 (0.394) ***	12.00-13.27	0.37 (0.010)	0.36-0.38
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	10.01 (0.014)	0.08-0.12	29.00 (5.863) ***	20.70-34.55
K <sub>2</sub> O (mg/100g)	182.60 (2.240)	179.23-185.85	288.80 (24.028) ***	268.70-322.20
<b>Кречњачко станиште (Крш – Велики Шењ)</b>				
рН (H <sub>2</sub> O)	7.62 (0.036) ns	7.57-7.67	7.79 (0.028)	7.75-7.83
рН (KCl)	6.94 (0.021) ns	6.91-6.97	7.03 (0.075)	6.94-7.13
С (%)	2.18 (0.017)	2.16-2.21	4.87 (0.995) ***	4.06-6.20
Н (%)	0.32 (0.010)	0.31-0.34	0.51 (0.100) *	0.42-0.66
С/Н	6.81 (0.016)	6.79-6.84	9.47 (0.320) ***	9.03-9.71
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	97.00 (1.755) ns	94.40-99.50	87.99 (23.000)	70.80-120.40
K <sub>2</sub> O (mg/100g)	188.60 (3.000) ns	184.20-192.85	160.40 (22.306)	140.20-191.50

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA) и Шефев тест (Scheffé's post-hoc test); резултати су представљени као М (SD), n=15; Мин. – минималне вредности, Макс. – максималне вредности; \*p<0.05, \*\*p<0.01, \*\*\* p<0.001, ns – нема статистички значајних разлика



Резултати упоредне анализе хемијских карактеристика контролног и ризосферног супстрата *A. altissima* на различитим стаништима приказани су у Табели 7. Статистички значајно веће рН вредности (H<sub>2</sub>O и KCl) биле су забележене код контролног супстрата из Делиблатске пешчаре у односу на контролни супстрат са кречњачког станишта Крш – Велики Шењ (p<0.01, p<0.001). Са друге стране, у контролном супстрату са кречњачког станишта Крш – Велики Шењ забележен је статистички значајно већи садржај С (p<0.05), однос С/Н (p<0.01), као и концентрације P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O (p<0.001) у односу на контролни супстрат из Делиблатске пешчаре. Такође, статистички значајно веће рН вредности (H<sub>2</sub>O и KCl), као и концентрације P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> детектоване су у контролном супстрату са кречњачког станишта Крш – Велики Шењ у односу на контролни супстрат са депоније пепела ТЕНТ-А (p<0.001), док је однос С/Н био статистички значајно већи у контролном супстрату са депоније пепела ТЕНТ-А у односу на контролни супстрат са кречњачког станишта Крш – Велики Шењ (p<0.001).

Табела 7. Упоредна анализа хемијских карактеристика контролног супстрата и ризосферног супстрата *A. altissima* на различитим стаништима

Параметар	Контролни супстрат		
	Делиблатска пешчара	Депонија пепела (ТЕНТ-А)	Кречњачко станиште (Крш – Велики Шењ)
рН (H <sub>2</sub> O)	a <sup>***</sup> b <sup>**</sup>	-	c <sup>***</sup>
рН (KCl)	a <sup>***</sup> b <sup>***</sup>	-	c <sup>***</sup>
С (%)	a <sup>ns</sup>	c <sup>ns</sup>	b <sup>***</sup>
Н (%)	a <sup>ns</sup> b <sup>ns</sup>	c <sup>ns</sup>	-
С/Н	-	a <sup>***</sup> c <sup>***</sup>	b <sup>*</sup>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	a <sup>***</sup>	-	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>
K <sub>2</sub> O (mg/100g)	-	a <sup>***</sup> c <sup>ns</sup>	b <sup>***</sup>
	Ризосферни супстрат		
	Делиблатска пешчара	Депонија пепела (ТЕНТ-А)	Кречњачко станиште (Крш – Велики Шењ)
рН (H <sub>2</sub> O)	a <sup>***</sup>	-	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>
рН (KCl)	a <sup>***</sup>	-	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>
С (%)	a <sup>ns</sup> b <sup>ns</sup>	c <sup>ns</sup>	-
Н (%)	a <sup>***</sup> b <sup>ns</sup>	c <sup>***</sup>	-
С/Н	a <sup>***</sup>	-	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	a <sup>***</sup>	-	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>
K <sub>2</sub> O (mg/100g)	-	a <sup>***</sup> c <sup>***</sup>	b <sup>***</sup>

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA) и Шефев тест (Scheffé's post-hoc test); (a) Делиблатска пешчара – ТЕНТ-А, (b) Делиблатска пешчара – Крш–Велики Шењ; (c) ТЕНТ-А – Крш–Велики Шењ; \*p<0.05, \*\*\* p<0.001, ns – нема статистички значајних разлика

Ризосферни супстрат *A. altissima* са кречњачког станишта Крш – Велики Шењ имао је статистички значајно веће рН вредности (H<sub>2</sub>O и KCl), као и садржај P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O, и однос С/Н у односу на ризосферни супстрат ове врсте из Делиблатске пешчаре и са депоније пепела ТЕНТ-А (p<0.001). Само је садржај Н био статистички значајно већи код ризосферног супстрата *A. altissima* са депоније пепела ТЕНТ-А у односу на ризосферни супстрат ове врсте са кречњачког станишта Крш – Велики Шењ (p<0.001). Разлике у садржају С између ризосферног супстрата *A. altissima* из Делиблатске пешчаре, са депоније пепела ТЕНТ-А, као и кречњачког станишта Крш – Велики Шењ, нису биле статистички значајне (ns).

### 5.1.3. Хемијске карактеристике супстрата *Amorpha fruticosa* на различитим стаништима

На основу двофакторске анализе варијансе (factorial ANOVA) уочено је да на разлике у рН (H<sub>2</sub>O и KCl), садржају доступних облика фосфора (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) и калијума (K<sub>2</sub>O) и разлике у C/N већи утицај има станиште (p<0.001), док на садржај угљеника (C) и азота (N) у супстрату *A. fruticosa* већи утицај има тип супстрата (контролни/ризосферни) (p<0.001) (Табела 8).

Табела 8. Утицај станишта и типа супстрата на варијабилност хемијских карактеристика супстрата *A. fruticosa*

Параметар	Станиште		Тип супстрата		Станиште * Тип супстрата	
	F	p	F	p	F	p
pH (H <sub>2</sub> O)	1669.100	***	0.500	ns	8.700	***
pH (KCl)	1538.600	***	2.400	ns	1.500	ns
C (%)	108.190	***	172.410	***	85.581	***
N (%)	47.245	***	374.360	***	31.307	***
C/N	117.240	***	5.420	*	10.620	**
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	796.230	***	44.852	***	67.450	***
K <sub>2</sub> O (mg/100g)	151.300	***	45.610	***	47.850	***

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA); \*\* p<0.01, \*\*\* p<0.001, ns – нема статистичке значајности

Резултати анализе хемијских карактеристика контролног и ризосферног супстрата врсте *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре, депоније пепела ТЕНТ-А и алувијалног наноса Велике Мораве (Багрдан) приказани су у Табели 9. Статистички значајно веће вредности C и N (p<0.05, p<0.001), као и K<sub>2</sub>O (p<0.001) имао је ризосферни супстрат *A. fruticosa* у односу на контролни супстрат из Делиблатске пешчаре. Разлике у вредностима осталих испитиваних параметара хемијских карактеристика контролног и ризосферног супстрата *A. fruticosa* нису биле статистички значајне (ns).

Садржај C, N, однос C/N, као и концентрације P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O биле су статистички значајно веће у ризосферном супстрату *A. fruticosa* у односу на контролни супстрат са депоније пепела ТЕНТ-А (p<0.001). Разлике у вредностима рН (H<sub>2</sub>O) и рН (KCl) између контролног супстрата и ризосферног супстрата *A. fruticosa* са депоније пепела ТЕНТ-А нису биле статистички значајне (ns). Статистички значајно веће вредности C и N имао је ризосферни супстрат *A. fruticosa* са алувијалног наноса Велике Мораве (Багрдан) у односу на контролни супстрат (p<0.05, p<0.001). Није било статистички значајних разлика у погледу вредности рН (H<sub>2</sub>O), рН (KCl) и C/N, као и садржаја P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O између контролног супстрата и ризосферног супстрата *A. fruticosa* са алувијалног наноса Велике Мораве.

Табела 9. Хемијске карактеристике контролног и ризосферног супстрата *A. fruticosa* на различитим стаништима

Параметар	Контролни супстрат		Ризосферни супстрат	
	М (SD)	Мин.-Макс.	М (SD)	Мин.-Макс.
<b>Делиблатска пешчара</b>				
рН (H <sub>2</sub> O)	7.98 (0.026) ns	7.95-8.01	8.01 (0.145)	7.90-8.20
рН (KCl)	7.56 (0.022) ns	7.53-7.59	7.57 (0.171)	7.34-7.70
С (%)	1.03 (0.010)	1.00-1.04	1.51 (0.415) *	1.09-1.89
Н (%)	0.16 (0.001)	0.16-0.17	0.24 (0.018) ***	0.22-0.26
С/Н	6.31 (0.055) ns	6.24-6.41	6.11 (1.302)	4.36-7.30
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	54.90 (3.061) ns	50.55-58.49	61.37 (7.402)	51.20-68.70
K <sub>2</sub> O (mg/100g)	53.90 (1.455)	51.63-56.10	77.67 (4.901) ***	71.70-85.00
<b>Депонија пепела (ТЕНТ-А)</b>				
рН (H <sub>2</sub> O)	6.44 (0.039) ns	6.38-6.50	6.29 (0.149)	6.10-6.44
рН (KCl)	5.27 (0.217) ns	5.00-5.54	5.29 (0.142)	5.10-5.41
С (%)	1.44 (0.019)	1.41-1.46	4.13 (0.639) ***	3.29-4.67
Н (%)	0.11 (0.004)	0.11-0.12	0.24 (0.030) ***	0.21-0.28
С/Н	12.97 (0.394)	12.00-13.27	17.43 (4.322) ***	11.69-21.15
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	10.01 (0.014)	0.08-0.12	25.30 (8.090) ***	14.20-32.30
K <sub>2</sub> O (mg/100g)	182.60 (2.240)	179.23-185.85	397.93 (93.322) ***	278.30-493.30
<b>Алувијални нанос Велике Мораве (Багрдан)</b>				
рН (H <sub>2</sub> O)	7.59 (0.012) ns	7.57-7.61	7.67 (0.040)	7.62-7.71
рН (KCl)	6.89 (0.013) ns	6.87-6.91	7.03 (0.031)	6.99-7.06
С (%)	1.77 (0.010)	1.76-1.78	1.95 (0.101) *	1.86-2.08
Н (%)	0.21 (0.006)	0.20-0.22	0.25 (0.018) ***	0.23-0.27
С/Н	8.43 (0.044) ns	8.35-8.49	7.70 (0.479)	7.15-8.32
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	79.90 (2.263) ns	76.70-82.49	68.07 (1.585)	65.80-70.45
K <sub>2</sub> O (mg/100g)	209.79 (3.007) ns	205.46-214.42	185.23 (18.269)	159.82-200.00

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA) и Шефеов тест (Scheffé's post-hoc test); резултати су представљени као М (SD), n=15; Мин. – минималне вредности, Макс. – максималне вредности; \*\*\* p<0.001, ns – нема статистички значајних разлика

Резултати упоредне анализе хемијских карактеристика контролног и ризосферног супстрата *A. fruticosa* на различитим стаништима приказане су у Табели 10. Резултати указују да је рН (H<sub>2</sub>O и KCl) контролног супстрата из Делиблатске пешчаре имао веће вредности у односу на контролни супстрат са алувијалног наноса (p<0.001). Вредности рН (H<sub>2</sub>O и KCl) контролног супстрата алувијалног наноса биле су статистички значајно веће у односу на контролни супстрат са депоније пепела (p<0.001).

Садржај С био је статистички значајно већи у контролном супстрату са алувијалног наноса Велике Мораве у односу на контролни супстрат из Делиблатске пешчаре (p<0.001). Концентрације N биле су статистички значајно веће у контролном супстрату са алувијалног наноса у односу на контролни супстрат Делиблатске пешчаре и са депоније пепела ТЕНТ-А (p<0.001). Статистички значајно веће вредности односа C/N забележене су у контролном супстрату са депоније пепела у односу на контролни супстрат са алувијалног наноса (p<0.001). Концентрације P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> биле су статистички значајно веће у контролном супстрату са алувијалног наноса у односу на контролни супстрат са депоније пепела и Делиблатске пешчаре (p<0.001). Такође, статистички значајно веће вредности K<sub>2</sub>O забележене су у контролном супстрату са алувијалног наноса у односу на контролни супстрат из Делиблатске пешчаре (p<0.001).

**Табела 10.** Упоредна анализа хемијских карактеристика контролног и ризосферног супстрата *A. fruticosa* на различитим стаништима

Параметар	Контролни супстрат		
	Делиблатска пешчара	Депонија пепела (ТЕНТ-А)	Алувијални нанос Велике Мораве (Багрдан)
рН (H <sub>2</sub> O)	a <sup>***</sup> b <sup>***</sup>	-	c <sup>***</sup>
рН (KCl)	a <sup>***</sup> b <sup>***</sup>	-	c <sup>***</sup>
C (%)	a <sup>ns</sup>	c <sup>ns</sup>	b <sup>***</sup>
N (%)	a <sup>ns</sup>	-	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>
C/N	b <sup>ns</sup>	a <sup>***</sup> c <sup>***</sup>	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	a <sup>***</sup>	-	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>
K <sub>2</sub> O (mg/100g)	-	a <sup>***</sup> c <sup>ns</sup>	b <sup>***</sup>
Параметар	Ризосферни супстрат		
	Делиблатска пешчара	Депонија пепела (ТЕНТ-А)	Алувијални нанос Велике Мораве (Багрдан)
рН (H <sub>2</sub> O)	a <sup>***</sup> b <sup>***</sup>	-	c <sup>***</sup>
рН (KCl)	a <sup>***</sup> b <sup>***</sup>	-	c <sup>***</sup>
C (%)	b <sup>ns</sup>	a <sup>***</sup> c <sup>***</sup>	-
N (%)	a <sup>ns</sup> b <sup>ns</sup>	c <sup>ns</sup>	-
C/N	b <sup>ns</sup>	a <sup>***</sup> c <sup>***</sup>	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	a <sup>***</sup> b <sup>ns</sup>	-	c <sup>***</sup>
K <sub>2</sub> O (mg/100g)	-	a <sup>***</sup> b <sup>***</sup>	c <sup>***</sup>

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA) и Шефев тест (Scheffé's post-hoc test); (a) Делиблатска пешчара – ТЕНТ-А, (b) Делиблатска пешчара – Велика Морава (Багрдан) ; (c) ТЕНТ-А – Велика Морава (Багрдан) ; \*\*\* p<0.001, ns – нема статистички значајних разлика

Статистички значајно веће вредности рН (H<sub>2</sub>O и KCl) забележене су код ризосферног супстрата врсте *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре у односу на ризосферни супстрат ове врсте са депоније пепела ТЕНТ-А и алувијалног наноса Велике Мораве (p<0.001). Садржај угљеника (C), као и однос C/N је био статистички значајно већи у ризосферном супстрату *A. fruticosa* са депоније пепела ТЕНТ-А, у односу на ризосферни супстрат ове врсте из Делиблатске пешчаре и алувијалног наноса Велике Мораве (p<0.001).

Садржај  $P_2O_5$  био је статистички значајно већи у ризосферном супстрату ове врсте из Делиблатске пешчаре и са алувијалног наноса у односу на ризосферни супстрат *A. fruticosa* са депоније пепела ( $p < 0.001$ ). Садржај  $K_2O$  био је статистички значајно већи у ризосферном супстрату *A. fruticosa* са са депоније пепела ТЕНТ-А у односу на ризосферни супстрат ове врсте из Делиблатске пешчаре и са алувијалног наноса ( $p < 0.001$ ). Такође, садржај  $K_2O$  је био статистички значајно већи у ризосферном супстрату *A. fruticosa* са алувијалног наноса Велике Мораве у односу на ризосферни супстрат *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре ( $p < 0.001$ ).

#### 5.1.4. Хемијске карактеристике супстрата – упоредна анализа испитиваних биљних врста

Резултати двофакторске анализе варијансе (factorial ANOVA) указали су да је на хемијске карактеристике супстрата заједничких станишта за испитиване врсте биљака (Делиблатска пешчара и депонија пепела ТЕНТ-А) статистички значајан утицај имали су фактори станиште и врста биљке, при чему је утицај станишта био израженији код рН ( $H_2O$ ) и рН (KCl), C, C/N,  $P_2O_5$  и  $K_2O$  ( $p < 0.001$ ), док је врста биљке статистички значајније утицала на N ( $p < 0.001$ ). Утицај фактора врста биљке на садржај  $P_2O_5$  није био статистички значајан (ns) (Табела 11).

**Табела 11.** Утицај станишта и врсте биљке на варијабилност хемијских карактеристика ризосферног супстрата испитиваних биљних врста

Параметар	Станиште		Врста биљке		Станиште * Врста биљке	
	F	p	F	p	F	p
рН ( $H_2O$ )	71.04	***	30.29	***	13.65	***
рН (KCl)	62.82	***	24.68	***	12.66	***
C (%)	183.40	***	79.15	***	12.66	***
N (%)	108.50	***	130.82	***	88.32	***
C/N	58.05	***	49.35	***	71.61	***
$P_2O_5$ (mg/100g)	183.53	***	0.51	ns	3.52	*
$K_2O$ (mg/100g)	318.06	***	31.55	***	11.45	***

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA), \*  $p < 0.05$ , \*\*\*  $p < 0.001$ , ns – нема статистичке значајности

Резултати упоредне анализе хемијских карактеристика ризосферног супстрата испитиваних врста биљака из Делиблатске пешчаре и са депоније пепела ТЕНТ-А приказани су у Табели 12. Статистички значајно веће вредности рН ( $H_2O$ ) и рН (KCl) забележене су у ризосферном супстрату *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре у односу на *A. altissima* ( $p < 0.001$ ,  $p < 0.01$ ). Такође, статистички значајно веће вредности рН ( $H_2O$ ) и рН (KCl) имао је ризосферни супстрат *R. pseudoacacia* и из Делиблатске пешчаре у односу на *A. altissima* ( $p < 0.01$ ,  $p < 0.05$ ). Разлике у рН вредностима ризосферног супстрата *R. pseudoacacia* и *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре нису биле статистички значајне (ns). Резултати упоредне анализе садржаја укупног угљеника (C) у ризосферном супстрату испитиваних врста из Делиблатске пешчаре указали су на значајно веће концентрације C у ризосферном супстрату *A. altissima* у односу на ризосферни супстрат *R. pseudoacacia* и *A. fruticosa* ( $p < 0.001$ ). Разлике у садржају C између ризосферног супстрата *R. pseudoacacia* и *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре нису биле статистички значајне (ns). Разлике између ризосферног супстрата код све три испитиване врсте биљака у садржају N, односу C/N, као и садржају доступних форми фосфора ( $P_2O_5$ ) и калијума ( $K_2O$ ) у ризосферном супстрату из Делиблатске пешчаре нису биле статистички значајне (ns).

**Табела 12.** Упоредна анализа хемијских карактеристика ризосферног супстрата испитиваних врста биљака на различитим стаништима

Параметар	Врста биљке			Станиште
	<i>R. pseudoacacia</i>	<i>A. altissima</i>	<i>A. fruticosa</i>	
pH (H <sub>2</sub> O)	a <sup>**</sup> b <sup>ns</sup>	-	c <sup>***</sup>	Делиблатска пешчара
pH (KCl)	a <sup>*</sup> b <sup>ns</sup>	-	c <sup>**</sup>	
C (%)	b <sup>ns</sup>	a <sup>***</sup> c <sup>***</sup>	-	
N (%)	a <sup>ns</sup> b <sup>ns</sup>	c <sup>ns</sup>	-	
C/N	a <sup>ns</sup> b <sup>ns</sup>	c <sup>ns</sup>	-	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	a <sup>ns</sup> b <sup>ns</sup>	c <sup>ns</sup>	-	
K <sub>2</sub> O (mg/100g)	a <sup>ns</sup> b <sup>ns</sup>	c <sup>ns</sup>	-	
	<i>R. pseudoacacia</i>	<i>A. altissima</i>	<i>A. fruticosa</i>	
pH (H <sub>2</sub> O)	a <sup>***</sup> b <sup>***</sup>	c <sup>ns</sup>	-	
pH (KCl)	a <sup>***</sup> b <sup>***</sup>	c <sup>ns</sup>	-	
C (%)	b <sup>ns</sup>	a <sup>***</sup> c <sup>*</sup>	-	
N (%)	b <sup>ns</sup>	a <sup>***</sup> c <sup>***</sup>	-	
C/N	a <sup>***</sup> b <sup>***</sup>	-	c <sup>***</sup>	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	a <sup>ns</sup> b <sup>ns</sup>	c <sup>ns</sup>	-	
K <sub>2</sub> O (mg/100g)	-	a <sup>**</sup>	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>	

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA) Шефов тест (Scheffé's post-hoc test); (a) *R. pseudoacacia* – *A. altissima*, (b) *R. pseudoacacia* – *A. fruticosa*; (c) *A. altissima* – *A. fruticosa*; \*p<0.05, \*\*p<0.001, \*\*\* p<0.001, ns – нема статистички значајних разлика

Резултати упоредне анализе хемијских карактеристика ризосферног супстрата испитиваних биљних врста са депоније пепела ТЕНТ-А показују да су статистички значајно веће вредности pH (H<sub>2</sub>O) и pH (KCl) забележене у ризосферном супстрату *R. pseudoacacia* у односу на *A. altissima* и *A. fruticosa* (p<0.001). Разлике у pH вредностима код ризосферног супстрата *A. altissima* и *A. fruticosa* са депоније пепела ТЕНТ-А нису биле статистички значајне (ns). Статистички значајно веће вредности C и N забележене су у ризосферном супстрату *A. altissima* у односу на ризосферни супстрат *R. pseudoacacia* са депоније пепела ТЕНТ-А (p<0.001). Такође, статистички значајно веће вредности C и N имао је ризосферни супстрат *A. altissima* у односу на *A. fruticosa* (p<0.05, p<0.001). Разлике у садржају C и N између *R. pseudoacacia* и *A. fruticosa* са депоније пепела ТЕНТ-А нису биле статистички значајне (ns). Вредности C/N биле су статистички значајно веће у ризосферном супстрату *R. pseudoacacia* у односу на *A. altissima* и *A. fruticosa* са депоније пепела (p<0.001). Такође, статистички значајно веће вредности C/N имао је ризосферни супстрат *A. fruticosa* у односу на *A. altissima* са депоније пепела ТЕНТ-А (p<0.001). Није било статистички значајних разлика у погледу садржаја P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> између испитиваних врста биљака на депонији пепела ТЕНТ-А (ns). Међутим, ризосферни супстрат *A. fruticosa* имао је статистички значајно веће вредности K<sub>2</sub>O у односу на ризосферни супстрат *R. pseudoacacia* и *A. altissima* (p<0.001). Такође, садржај K<sub>2</sub>O био је значајно већи у ризосферном супстрату *A. altissima* у односу на ризосферни супстрат *R. pseudoacacia* са депоније пепела ТЕНТ-А (p<0.01).

## 5.2 Садржај хемијских елемената у супстрату испитиваних врста биљака на различитим стаништима

### 5.2.1. Садржај хемијских елемената у супстрату *Robinia pseudoacacia* на различитим стаништима

На основу двофакторске анализе варијансе (factorial ANOVA) уочено је да на варијабилност укупног садржаја хемијских елемената Cr, Cu, Fe, Mn, Ni и Zn у супстрату код *R. pseudoacacia* статистички значајан утицај имају станиште ( $p < 0.001$ ) и тип супстрата ( $p < 0.001$ ), при чему је утицај станишта израженији (Табела 13).

**Табела 13.** Утицај станишта и типа супстрата (контролни/ризосферни) на варијабилност садржаја хемијских елемената у супстрату *R. pseudoacacia*

Параметар	Станиште		Тип супстрата		Станиште * Тип супстрата	
	F	p	F	p	F	P
Cr	581.290	***	45.260	***	13.460	***
Cu	1916.550	***	15.060	***	79.210	***
Fe	236.723	***	16.212	***	2.606	ns
Mn	4530.490	***	46.860	***	36.630	***
Ni	65579.300	***	106.900	***	98.900	***
Zn	1033.450	***	31.690	***	13.460	***

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA), \*\*\*  $p < 0.001$ , ns – нема статистике значајности

Садржај хемијских елемената у контролном и ризосферном супстрату *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре, са депоније пепела ТЕНТ-А и са јаловишта азбеста Страгари приказан је у Табели 14. Резултати су показали да је редослед садржаја хемијских елемената у контролном и ризосферном супстрату *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре био следећи: Fe>Mn>Cr>Ni>Zn>Cu. Садржај Zn био је статистички значајно већи у ризосферном супстрату *R. pseudoacacia* у односу на контролни супстрат из Делиблатске пешчаре ( $p < 0.001$ ). Разлике у садржају Cr, Cu, Fe, Mn и Ni између контролног и ризосферног супстрата из Делиблатске пешчаре нису биле статистички значајне (ns).

Резултати су показали да се на депонији пепела ТЕНТ-А садржај хемијских елемената у контролном и ризосферном супстрату *R. pseudoacacia* кретао следећим редоследом: Fe>Mn>Ni>Cr>Cu>Zn. Статистички значајно већи садржај Cr и Cu ( $p < 0.001$ ), као и Fe и Zn ( $p < 0.01$ ) имао је ризосферни супстрат *R. pseudoacacia* са депоније пепела ТЕНТ-А у односу на контролни супстрат. Разлике у садржају Mn и Ni нису биле статистички значајне (ns).

Садржај хемијских елемената у контролном и ризосферном супстрату *R. pseudoacacia* са јаловишта азбеста Страгари опадао је следећим редоследом: Fe>Ni>Mn>Zn>Cr>Cu. Статистички значајно већи садржај Cu и Mn забележен је у контролном супстрату у односу на ризосферни супстрат ( $p < 0.001$ ), док су вредности Ni биле статистички значајно веће у ризосферном супстрату у односу на контролни супстрат са јаловишта азбеста Страгари ( $p < 0.001$ ). Разлике у садржају Cr, Fe и Zn између контролног супстрата и ризосферног супстрата *R. pseudoacacia* са јаловишта азбеста Страгари нису биле статистички значајне (ns).

**Табела 14.** Садржај хемијских елемената ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) у контролном и ризосферном супстрату *R. pseudoacacia* на различитим стаништима

Параметар	Контролни супстрат		Ризосферни супстрат	
	М (SD)	Мин.-Макс.	М (SD)	Мин.-Макс.
<b>Делиблатска пешчара</b>				
Cr	68.86 (0.791) ns	68.20-70.10	74.74 (8.225)	65.10-85.00
Cu	7.33 (0.080) ns	7.25-7.43	7.89 (0.748)	7.14-8.95
Fe	18938.91 (43.055) ns	18835.90- 18978.00	20174.00 (1382.528)	18448.20- 21851.50
Mn	107.01 (1.020) ns	106.10-108.70	99.34 (12.236)	84.90-114.80
Ni	36.57 (0.444) ns	35.90-37.00	33.04 (1.482)	30.90-35.60
Zn	19.38 (0.402)	19.00-20.20	23.66 (1.553) ***	21.40-25.50
<b>Депонија пепела (ТЕНТ-А)</b>				
Cr	61.76 (0.835)	61.00-62.90	75.29 (3.413) ***	71.40-80.20
Cu	16.26 (0.255)	15.90-16.60	21.94 (2.227) ***	18.90-25.10
Fe	20673.03 (227.490)	20459.30- 21106.30	24490.17 (568.227) **	23605.30- 25013.80
Mn	184.56 (1.516)	182.90-186.30	187.14 (16.895) ns	169.00-209.50
Ni	71.42 (0.452)	70.90-72.40	76.51 (6.176) ns	67.60-82.40
Zn	11.36 (0.309)	11.00-11.80	15.07 (1.368) **	13.00-16.80
<b>Јаловиште азбеста (Страгари)</b>				
Cr	33.47 (0.640)	32.90-34.40	34.30 (0.912) ns	33.10-35.80
Cu	30.46 (0.407) ***	30.00-31.30	27.50 (0.831)	26.20-28.50
Fe	32274.91 (4276.541) ns	24756.10- 34852.50	33580.81 (1360.620)	31858.20- 35489.20
Mn	449.60 (0.970) ***	448.50-451.00	396.16 (14.731)	383.40-417.50
Ni	583.12 (1.091)	582.10-585.10	626.07 (11.176) ***	612.20-640.50
Zn	37.48 (0.487) ns	36.90-38.10	36.76 (3.261)	33.00-41.20

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA) и Шефев тест (Scheffé's post-hoc test); резултати су представљени као М (SD), n=15; Мин. – минималне вредности, Макс. – максималне вредности; \*\* p<0.01, \*\*\* p<0.001, ns – нема статистички значајних разлика

Резултати упоредне анализе укупног садржаја хемијских елемената у контролном и ризосферном супстрату *R. pseudoacacia* на различитим стаништима приказани су у Табели 15. Укупан садржај Cr био је статистички значајно већи у контролном супстрату из Делиблатске пешчаре у односу на контролни супстрат на депонији пепела ТЕНТ-А (p<0.05) и јаловишту азбеста Страгари (p<0.001). Такође, статистички значајно већи садржај Cr је измерен у контролном супстрату на депонији



пепела ТЕНТ-А у односу на контролни супстрат са јаловишта азбеста Страгари ( $p < 0.001$ ). Укупан садржај Cu, Mn и Ni био је статистички значајно већи у контролном супстрату са јаловишта азбеста Страгари у односу на контролни супстрат на депонији пепела ТЕНТ-А ( $p < 0.001$ ) и Делиблатске пешчаре ( $p < 0.001$ ). Садржај Cu, Mn и Ni био је статистички значајно већи у контролном супстрату на депонији пепела ТЕНТ-А у односу на контролни супстрат из Делиблатске пешчаре ( $p < 0.001$ ). Укупан садржај Fe био је статистички значајно већи у контролном супстрату са јаловишта азбеста у односу на контролни супстрат на депонији пепела ТЕНТ-А ( $p < 0.001$ ) и контролни супстрат из Делиблатске пешчаре ( $p < 0.001$ ). Разлике у садржају Fe између контролног супстрата на депонији пепела ТЕНТ-А и Делиблатске пешчаре нису биле статистички значајне (ns). Садржај Zn био је статистички значајно већи у контролном супстрату са јаловишта азбеста Страгари у односу на контролни супстрат из Делиблатске пешчаре ( $p < 0.001$ ) и депоније пепела ТЕНТ-А ( $p < 0.001$ ). Такође, садржај Zn био је статистички значајно већи у контролном супстрату из Делиблатске пешчаре у односу на депонију пепела ТЕНТ-А ( $p < 0.001$ ).

**Табела 15.** Упоредна анализа садржаја хемијских елемената ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) у контролном и ризосферном супстрату *R. pseudoacacia* на различитим стаништима

Параметар	Контролни супстрат		
	Делиблатска пешчара	Депонија пепела (ТЕНТ-А)	Јаловиште азбеста (Страгари)
Cr	a <sup>*</sup> b <sup>***</sup>	c <sup>***</sup>	-
Cu	-	a <sup>***</sup>	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>
Fe	-	a <sup>ns</sup>	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>
Mn	-	a <sup>***</sup>	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>
Ni	-	a <sup>***</sup>	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>
Zn	a <sup>***</sup>	-	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>
	Ризосферни супстрат		
	Делиблатска пешчара	Депонија пепела (ТЕНТ-А)	Јаловиште азбеста (Страгари)
Cr	a <sup>ns</sup> b <sup>***</sup>	c <sup>***</sup>	-
Cu	-	a <sup>***</sup>	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>
Fe	a <sup>ns</sup>	-	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>
Mn	-	a <sup>***</sup>	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>
Ni	-	a <sup>***</sup>	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>
Zn	a <sup>***</sup>	-	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA) и Шефеов тест (Scheffé's post-hoc test); (a) Делиблатска пешчара – ТЕНТ-А; (b) Делиблатска пешчара – Страгари; (c) ТЕНТ-А – Страгари; \*  $p < 0.05$ , \*\*\*  $p < 0.001$ ; ns – нема статистички значајних разлика

Укупан садржај Cu, Fe, Mn, Ni и Zn био је статистички значајно већи у ризосферном супстрату *R. pseudoacacia* са јаловишта азбеста Страгари у односу на депонију пепела ТЕНТ-А ( $p < 0.001$ ) и ризосферни супстрат из Делиблатске пешчаре ( $p < 0.001$ ). Укупан садржај Cu, Mn и Ni био је статистички значајно већи у ризосферном супстрату *R. pseudoacacia* на депонији пепела ТЕНТ-А у односу на ризосферни супстрат из Делиблатске пешчаре ( $p < 0.001$ ), док је садржај Zn био већи у ризосферном супстрату из Делиблатске пешчаре у односу на ризосферни супстрат на депонији пепела ТЕНТ-А ( $p < 0.001$ ). Укупан садржај Cr био је статистички значајно већи у ризосферном супстрату *R. pseudoacacia* на депонији пепела ТЕНТ-А у односу на ризосферни супстрат са јаловишта азбеста Страгари ( $p < 0.001$ ), као и у ризосферном супстрату из Делиблатске пешчаре у односу на ризосферни супстрат са јаловишта азбеста Страгари ( $p < 0.001$ ). Разлике у садржају Cr у ризосферном супстрату *R.*

*pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре и са депоније пепела ТЕНТ-А нису биле статистички значајне (ns).

### 5.2.2. Садржај хемијских елемената у супстрату *Ailanthus altissima* на различитим стаништима

На основу двофакторске анализе варијансе (factorial ANOVA) уочено је да на варијабилност укупног садржаја хемијских елемената Cr, Cu, Fe, Mn, Ni и Zn статистички значајан утицај имају станиште и тип супстрата, при чему је утицај станишта израженији ( $p < 0.001$ ). Утицај типа супстрата на садржај Mn није био статистички значајан (ns) (Табела 16).

Табела 16. Утицај станишта и типа супстрата на варијабилност садржаја хемијских елемената у супстрату *A. altissima*

Параметар	Станиште		Тип супстрата		Станиште * Тип супстрата	
	F	p	F	p	F	p
Cr	5044.07	***	302.51	***	100.57	***
Cu	324.281	***	131.950	***	10.890	***
Fe	4651.74	***	538.69	***	419.77	***
Mn	1687.183	***	2.749	ns	3.459	*
Ni	4397.94	***	291.39	***	82.24	***
Zn	1126.29	***	259.66	***	42.14	***

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA), \*  $p < 0.05$ , \*\*\*  $p < 0.001$ , ns – нема статистичке значајности

Садржај хемијских елемената у контролном и ризосферном супстрату *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре, са депоније пепела ТЕНТ-А и са кречњачког станишта Крш – Велики Шењ приказан је у Табели 17. Резултати су показали да је редослед садржаја хемијских елемената био следећи: Fe>Mn>Cr>Ni>Zn>Cu. Статистичка анализа је показала да је садржај Cu био статистички значајно већи у ризосферном у односу на контролни супстрат ( $p < 0.05$ ). Такође, статистички значајно већи садржај Ni и Zn забележен је код ризосферног у односу на контролни супстрат из Делиблатске пешчаре ( $p < 0.001$ ). Разлике у садржају Cr, Fe и Mn између контролног супстрата и ризосферног супстрата *A. altissima* из Делиблатске пешчаре нису биле статистички значајне (ns).

Садржај хемијских елемената у контролном супстрату *A. altissima* са депоније пепела ТЕНТ-А опадао је следећим редоследом: Fe>Mn>Ni>Cr>Cu>Zn, док је опадајући редослед у ризосферном супстрату био: Fe>Mn>Cr>Ni>Cu>Zn. Статистички значајно већи садржај Cr и Cu ( $p < 0.001$ ), као и Fe и Zn забележен је у ризосферном супстрату *A. altissima* у односу на контролни супстрат са депоније пепела ТЕНТ-А ( $p < 0.01$ ) (Табела 25). Разлике у садржају Mn и Ni код контролног супстрата у односу на ризосферни супстрат *A. altissima* нису биле статистички значајне (ns).

На кречњачком станишту Крш – Велики Шењ садржај хемијских елемената у контролном и ризосферном супстрату *A. altissima* опадао је следећим редоследом: Fe>Mn>Cr>Ni>Zn>Cu. Статистички значајно веће вредности Cr, Cu, Fe, Ni и Zn имао је ризосферни супстрат у односу на контролни супстрат кречњачког станишта Крш – Велики Шењ ( $p < 0.001$ ). Разлике у садржају Mn нису биле статистички значајне (ns).

**Табела 17.** Садржај хемијских елемената ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) у контролном и ризосферном супстрату *A. altissima* на различитим стаништима

Параметар	Контролни супстрат		Ризосферни супстрат	
	М (SD)	Мин.-Макс.	М (SD)	Мин.-Макс.
<b>Делиблатска пешчара</b>				
Cr	68.86 (0.791) ns	68.20-70.10	70.18 (2.695)	66.90-73.80
Cu	7.33 (0.080)	7.25-7.43	10.81 (0.598) *	9.85-11.80
Fe	18938.91 (43.055) ns	18835.90- 18978.00	18399.30 (896.327)	17496.30- 19732.80
Mn	107.01 (1.020) ns	106.10-108.70	124.17 (8.805)	114.20-136.20
Ni	36.57 (0.444)	35.90-37.00	43.83 (3.055) ***	40.30-48.20
Zn	19.38 (0.402)	19.00-20.20	31.64 (1.069) ***	30.30-33.50
<b>Депонија пепела (ТЕНТ-А)</b>				
Cr	61.76 (0.835)	61.00-62.90	88.51 (3.512) ***	84.90-93.60
Cu	16.26 (0.255)	15.90-16.60	21.49 (1.017) ***	19.90-22.80
Fe	20673.03 (227.490)	20459.30- 21106.30	22499.31 (964.875) **	21054.80- 23695.50
Mn	184.56 (1.516) ns	182.90-186.30	171.09 (11.863)	155.90-185.40
Ni	71.42 (0.452) ns	70.90-72.40	74.84 (4.672)	69.10-81.20
Zn	11.36 (0.309)	11.00-11.80	15.00 (1.282) **	13.00-16.80
<b>Кречњачко станиште (Јрш – Велики Шењ)</b>				
Cr	221.60 (1.676)	219.40-223.60	281.23 (14.328) ***	268.30-302.40
Cu	20.59 (0.491)	19.90-21.50	29.88 (4.514) ***	24.40-35.50
Fe	35242.47 (496.692)	34651.10- 35892.40	49037.21 (1328.213) ***	47156.20- 50923.60
Mn	1171.08 (14.095) ns	1155.00-1193.50	1087.87 (142.304)	931.00-1298.80
Ni	103.83 (0.885)	103.00-105.80	126.69 (1.557) ***	124.30-129.10
Zn	35.64 (0.709)	34.90-36.70	40.22 (3.339) ***	35.40-44.10

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA) и Шефев тест (Scheffé's post-hoc test); резултати су представљени као М (SD), n=15; Мин. – минималне вредности, Макс. – максималне вредности; \* p<0.05, \*\* p<0.01, \*\*\* p<0.001, ns – нема статистички значајних разлика

Резултати упоредне анализе садржаја хемијских елемената у контролном и ризосферном супстрату *A. altissima* са испитиваних станишта приказани су у Табели 18. Садржај Cr, Fe, Mn, Ni и Zn био је статистички значајно већи у контролном супстрату са станишта Велики Шењ у односу на контролни супстрат из Делиблатске пешчаре и са депоније пепела ТЕНТ-А ( $p < 0.001$ ), што исто важи и за укупан садржај Cu ( $p < 0.01$ ,  $p < 0.001$ ).

**Табела 18.** Упоредна анализа садржаја хемијских елемената у контролном и ризосферном супстрату *A. altissima* на различитим стаништима

Параметар	Контролни супстрат		
	Делиблатска пешчара	Депонија пепела (ТЕНТ-А)	Кречњачко станиште (Крш – Велики Шењ)
Cr	a*	-	b*** c***
Cu	-	a***	b*** c**
Fe	a <sup>ns</sup>	-	b*** c***
Mn	-	a***	b*** c***
Ni	-	a***	b*** c***
Zn	a***	-	b*** c***
Параметар	Ризосферни супстрат		
	Делиблатска пешчара	Депонија пепела (ТЕНТ-А)	Кречњачко станиште (Крш – Велики Шењ)
Cr	-	a***	b*** c***
Cu	-	a***	b*** c***
Fe	-	a***	b*** c***
Mn	-	a***	b*** c***
Ni	-	a***	b*** c***
Zn	-	-	b*** c***

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA) и Шефев тест (Scheffé's post-hoc test); (a) Делиблатска пешчара-ТЕНТ-А; (b) Делиблатска пешчара – Крш-Велики Шењ; (c) ТЕНТ-А – Крш-Велики Шењ; \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$ ; ns – нема статистички значајних разлика

У ризосферном супстрату *A. altissima* са кречњачког станишта Крш – Велики Шењ забележене су статистички значајно веће концентрације Cr, Cu, Fe, Mn, Ni и Zn у односу на ризосферни супстрат ове врсте из Делиблатске пешчаре и са депоније пепела ТЕНТ-А ( $p < 0.001$ ). Такође, статистички значајно веће концентрације Cr, Cu, Fe, Mn и Ni имао је ризосферни супстрат *A. altissima* са депоније пепела ТЕНТ-А у односу на Делиблатску пешчару ( $p < 0.001$ ), док је садржај Zn био статистички значајно већи у ризосферном супстрату *A. altissima* из Делиблатске пешчаре у односу на депонију пепела ТЕНТ-А ( $p < 0.001$ ).

### 5.2.3. Садржај хемијских елемената у супстрату *Amorpha fruticosa* на различитим стаништима

На основу двофакторске анализе варијансе (factorial ANOVA) уочено је да на варијабилност укупног садржаја Cr, Cu, Fe, Mn, Ni и Zn у супстрату код *A. fruticosa*, утицај имају и станиште ( $p < 0.001$ ) и тип супстрата ( $p < 0.001$ ), при чему је утицај станишта израженији (Табела 19).

**Табела 19.** Утицај станишта и типа супстрата на варијабилност садржаја хемијских елемената у супстрату *A. fruticosa*

Параметар	Станиште		Тип супстрата		Станиште * Тип супстрата	
	F	p	F	p	F	p
Cr	4972.970	***	21.95	***	208.080	***
Cu	589.470	***	23.612	***	49.2450	***
Fe	8529.700	***	105.100	***	973.20	***
Mn	24544.910	***	14.410	***	16.890	***
Ni	9072.800	***	25.990	***	61.000	***
Zn	15335.510	***	294.140	***	88.140	***

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA); \*\*\*  $p < 0.001$ .

Садржај хемијских елемената у контролном и ризосферном супстрату *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре, депоније пепела ТЕНТ-А и алувијалног наноса Велике Мораве (Багрдан) приказан је у Табели 20. Опадајући редослед хемијских елемената у контролном и ризосферном супстрату из Делиблатске пешчаре био је следећи: Fe>Mn>Cr>Ni>Zn>Cu. Резултати статистичке анализе показали су статистички значајно веће вредности Fe у контролном супстрату у односу на ризосферни супстрат *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре ( $p < 0.001$ ), док су концентрације Zn биле статистички значајно веће у ризосферном супстрату у односу на контролни супстрат ( $p < 0.001$ ). Разлике у укупном садржају Cr, Cu, Mn и Ni између контролног супстрата и ризосферног супстрата *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре нису биле статистички значајне (ns).

Концентрације хемијских елемената су се у контролном супстрату кретале следећим редоследом: Fe>Mn>Ni>Cr>Cu>Zn, док је опадајући редослед хемијских елемената у ризосферном супстрату био: Fe>Mn>Cr>Ni>Cu>Zn. Резултати су показали статистички значајно веће концентрације Cr, Cu, Fe, Ni и Zn у ризосферном супстрату *A. fruticosa* са депоније пепела ТЕНТ-А у односу на контролни супстрат са депоније пепела ТЕНТ-А ( $p < 0.001$ ). Разлике у садржају Mn нису биле статистички значајне (ns).

Садржај хемијских елемената у контролном и ризосферном супстрату *A. fruticosa* на алувијалном наносу Велике Мораве (Багрдан) опадао је по следећем редоследу: Fe>Mn>Ni>Zn>Cu>Cr. Статистички значајно веће концентрације гвожђа (Fe), мангана (Mn) и никла (Ni) имао је контролни супстрат у односу на ризосферни супстрат *A. fruticosa* ( $p < 0.001$ ), док су разлике у укупном садржају Cr, Cu и Zn између контролног супстрата и ризосферног супстрата *A. fruticosa* са алувијалног наноса Велике Мораве (Багрдан) биле без статистичке значајности (ns).

**Табела 20.** Садржај хемијских елемената ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) у контролном и ризосферном супстрату *A. fruticosa* на различитим стаништима

Параметар	Контролни супстрат		Ризосферни супстрат	
	М (SD)	Мин.-Макс.	М (SD)	Мин.-Макс.
<b>Делиблатска пешчара</b>				
Cr	68.86 (0.791) ns	68.20-70.10	70.49 (3.673)	65.30-74.60
Cu	7.33 (0.080) ns	7.25-7.43	7.77 (0.963)	6.83-9.11
Fe	18938.91 (43.055) ***	18835.90- 18978.00	16082.99 (338.710)	15682.90- 16723.10
Mn	107.01 (1.020) ns	106.10-108.70	106.67 (12.186)	94.00-122.70
Ni	36.57 (0.444) ns	35.90-37.00	33.72 (3.059)	30.40-38.40
Zn	19.38 (0.402)	19.00-20.20	24.90 (0.660) ***	23.90-25.60
<b>Депонија пепела (ТЕНТ-А)</b>				
Cr	61.76 (0.835)	61.00-62.90	81.11 (3.762) ***	76.30-86.00
Cu	16.26 (0.255)	15.90-16.60	21.99 (2.600) ***	18.80-25.40
Fe	20673.03 (227.490)	20459.30- 21106.30	26423.46 (925.987) ***	25482.20- 27981.30
Mn	184.56 (1.516) ns	182.90-186.30	181.58 (11.785)	170.30-198.20
Ni	71.42 (0.452)	70.90-72.40	77.28 (3.947) ***	73.00-83.40
Zn	11.36 (0.309)	11.00-11.80	17.97 (2.008) ***	15.00-20.10
<b>Алувијални нанос Велике Мораве (Багрдан)</b>				
Cr	11.27 (0.409) ns	10.90-11.80	9.65 (0.095)	9.49-9.75
Cu	19.57 (0.339) ns	19.20-20.00	17.88 (0.282)	17.40-18.10
Fe	39556.24 (299.270) ***	39120.30- 39875.50	32571.04 (130.448)	32452.00- 32870.40
Mn	617.81 (4.410) ***	613.30-622.90	594.40 (3.209)	590.10-598.30
Ni	134.39 (0.785) ***	133.40-135.90	125.76 (0.513)	124.90-126.40
Zn	65.19 (0.362) ns	64.90-65.70	64.78 (0.719)	64.10-65.80

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA) и Шефев тест (Scheffé's post-hoc test); резултати су представљени као М (SD), n=15; Мин. – минималне вредности, Макс. – максималне вредности; \*\*\* p<0.001, ns – нема статистички значајних разлика

Резултати упоредне анализе садржаја хемијских елемената у контролном и ризосферном супстрату са различитих станишта приказани су у Табели 21. Садржај Cr био је значајно мањи у контролном супстрату алувијалног наноса Велике Мораве (Багрдан) у односу на контролни супстрат са депоније пепела ТЕНТ-А (p<0.001) и Делиблатске пешчаре (p<0.001). Садржај осталих испитиваних хемијских елемената

метала (Cu, Fe, Mn, Ni и Zn) био је статистички значајно већи у контролном супстрату алувијалног наноса Велике Мораве (Багрдан) у односу на контролни супстрат ТЕНТ-А и Делиблатске пешчаре ( $p < 0.001$ ). Такође, садржај Cr био је значајно већи у контролном супстрату из Делиблатске пешчаре у односу на депонију пепела ТЕНТ-А ( $p < 0.05$ ). Концентрације Mn и Ni биле су значајно веће у контролном супстрату са депоније пепела ТЕНТ-А у односу на Делиблатску пешчару ( $p < 0.001$ ), док је садржај Zn био статистички значајно већи у контролном супстрату из Делиблатске пешчаре у односу на депонију пепела ТЕНТ-А ( $p < 0.001$ ).

**Табела 21.** Упоредна анализа садржаја хемијских елемената ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) у контролном и ризосферном супстрату *A. fruticosa* на различитим стаништима

Параметар	Контролни супстрат		
	Делиблатска пешчара	Депонија пепела (ТЕНТ-А)	Алувијални нанос Велике Мораве (Багрдан)
Cr	a <sup>*</sup> b <sup>***</sup>	c <sup>***</sup>	-
Cu	-	a <sup>***</sup>	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>
Fe	a <sup>ns</sup>	-	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>
Mn	-	a <sup>***</sup>	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>
Ni	-	a <sup>***</sup>	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>
Zn	a <sup>***</sup>	-	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>
	Ризосферни супстрат		
	Делиблатска пешчара	Депонија пепела (ТЕНТ-А)	Алувијални нанос Велике Мораве (Багрдан)
Cr	b <sup>***</sup>	a <sup>***</sup> c <sup>***</sup>	-
Cu	-	a <sup>***</sup> c <sup>***</sup>	b <sup>***</sup>
Fe	-	a <sup>***</sup>	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>
Mn	-	a <sup>***</sup>	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>
Ni	-	a <sup>***</sup>	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>
Zn	a <sup>***</sup>	-	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA) и Шефеов тест (Scheffé's post-hoc test); (a) Делиблатска пешчара – ТЕНТ-А, (b) Делиблатска пешчара – Велика Морава (Багрдан); (c) ТЕНТ-А – Велика Морава (Багрдан); \* $p < 0.05$ , \*\*\*  $p < 0.001$ , ns – нема статистички значајних разлика

Укупан садржај Cr био је статистички значајно већи у ризосферном супстрату *A. fruticosa* са депоније пепела ТЕНТ-А и Делиблатске пешчаре у односу на ризосферни супстрат ове врсте са алувијалног наноса Велике Мораве (Багрдан) ( $p < 0.01$ ). Такође, садржај Cr у ризосферном супстрату *A. fruticosa* са депоније пепела ТЕНТ-А био је значајно већи у односу на ризосферни супстрат из Делиблатске пешчаре ( $p < 0.001$ ). Концентрације укупног Cu, Fe, Mn, Ni и Zn су статистички значајно биле веће у ризосферном супстрату *A. fruticosa* са алувијалног наноса Велике Мораве (Багрдан) у односу на ризосферни супстрат ове врсте са депоније пепела ТЕНТ-А и Делиблатске пешчаре ( $p < 0.001$ ), осим у случају Cu, где је садржај овог хемијског елемента метала био статистички значајно већи у ризосферном супстрату са депоније пепела ТЕНТ-А у односу на ризосферни супстрат станишта Багрдан ( $p < 0.01$ ). Такође, садржај Cu, Fe, Mn и Ni био је значајно већи у ризосферном супстрату *A. fruticosa* са депоније пепела ТЕНТ-А ( $p < 0.001$ ), док је садржај Zn био значајно већи у ризосферном супстрату *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре у односу на депонију пепела ТЕНТ-А ( $p < 0.001$ ).

### 5.2.4. Садржај хемијских елемената у супстрату – упоредна анализа испитиваних биљних врста

Резултати двофакторске анализе варијансе (factorial ANOVA) показали су да су статистички значајан утицај на укупан садржај Cr, Cu, Fe, Mn, Ni и Zn у супстрату имали и станиште и врста биљке, при чему је утицај станишта био већи ( $p < 0.001$ ). Утицај врсте биљке на садржај Cu и Mn није био статистички значајан (ns) (Табела 22).

Табела 22. Утицај станишта и врсте биљке на варијабилност укупног садржаја хемијских елемената у ризосферном супстрату испитиваних биљних врста

Параметар	Станиште		Врста		Станиште * Тип супстрата	
	F	p	F	p	F	p
Cr	64.740	***	4.810	**	17.250	***
Cu	839.390	***	2.760	ns	5.530	**
Fe	418.710	***	13.930	***	37.780	***
Mn	395.680	***	0.730	ns	12.060	***
Ni	1087.740	***	5.120	***	10.720	***
Zn	827.720	***	37.230	***	61.610	*

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA), \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$ , ns – нема статистичке значајности

Резултати упоредне анализе садржаја хемијских елемената у ризосферном супстрату испитиваних врста из Делиблатске пешчаре и са депоније пепела ТЕНТ-А приказани су у Табели 23. Резултати су показали да не постоје статистички значајне разлике у садржају Cr у ризосферном супстрату испитиваних врста биљака (ns). Укупни садржај Cu био је статистички значајно већи у ризосферном супстрату *A. altissima* у односу на *R. pseudoacacia* и *A. fruticosa* ( $p < 0.05$ ). Разлике у садржају овог елемента између *R. pseudoacacia* и *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре нису биле статистички значајне (ns). Садржај Fe био је статистички значајно већи у ризосферном супстрату *R. pseudoacacia* у односу на ризосферни супстрат *A. altissima* и *A. fruticosa* ( $p < 0.01$ ,  $p < 0.001$ ), као и код *A. altissima* у односу на *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре ( $p < 0.001$ ). Ризосферни супстрат *A. altissima* имао је статистички значајно веће вредности Mn у односу на ризосферни супстрат *R. pseudoacacia* ( $p < 0.001$ ). Разлике у садржају Mn између *R. pseudoacacia* и *A. fruticosa*, као и *A. altissima* и *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре нису биле статистички значајне (ns). Садржај Ni и Zn био је статистички значајно већи у ризосферном супстрату *A. altissima* у односу на *R. pseudoacacia* и *A. fruticosa* ( $p < 0.001$ ). Разлике у садржају Ni и Zn између ризосферног супстрата *R. pseudoacacia* и *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре нису биле статистички значајне (ns).

Статистички значајно веће вредности Cr имао је ризосферни супстрат *A. altissima* у односу на *R. pseudoacacia* са депоније пепела ТЕНТ-А ( $p < 0.001$ ). Разлике у садржају овог елемента између *R. pseudoacacia* и *A. altissima*, као и *A. altissima* и *A. fruticosa* нису биле статистички значајне (ns). Такође, разлике у садржају Cu, Mn, и Ni ризосферног супстрата свих испитиваних врста биљака са депоније пепела ТЕНТ-А нису биле статистички значајне (ns). Статистички значајно веће вредности Fe имао је ризосферни супстрат *A. fruticosa* у односу на ризосферни супстрат *R. pseudoacacia* и *A. altissima* са депоније пепела ТЕНТ-А ( $p < 0.01$ ,  $p < 0.001$ ). Такође, статистички значајно веће вредности овог хемијског елемента имао је ризосферни супстрат *R. pseudoacacia* у односу на *A. altissima* ( $p < 0.01$ ). Ризосферни супстрат *A. fruticosa* имао је статистички значајно веће вредности Zn у односу на ризосферни супстрат *R. pseudoacacia* и *A.*



*altissima* ( $p < 0.01$ ,  $p < 0.01$ ), док су разлике између *R. pseudoacacia* и *A. altissima* са депоније пепела ТЕНТ-А биле без статистичке значајности (ns).

**Табела 23.** Упоредна анализа садржаја хемијских елемената у ризосферном супстрату испитиваних врста биљака на различитим стаништима

Параметар	Врста биљке			Станиште
	<i>R. pseudoacacia</i>	<i>A. altissima</i>	<i>A. fruticosa</i>	
Cr	a <sup>ns</sup> b <sup>ns</sup>	c <sup>ns</sup>	-	Делиблатска пешчара
Cu	b <sup>ns</sup>	a* c*	-	
Fe	a** b***	c***	-	
Mn	b <sup>ns</sup>	a** c <sup>ns</sup>	-	
Ni	b <sup>ns</sup>	a*** c***	-	
Zn	b <sup>ns</sup>	a*** c***	-	
	<i>R. pseudoacacia</i>	<i>A. altissima</i>	<i>A. fruticosa</i>	Депонија пепела (ТЕНТ-А)
Cr	b <sup>ns</sup>	a*** c <sup>ns</sup>	-	
Cu	a <sup>ns</sup> b <sup>ns</sup>	c <sup>ns</sup>	-	
Fe	a**	-	b** c***	
Mn	a <sup>ns</sup> b <sup>ns</sup>	c <sup>ns</sup>	-	
Ni	a <sup>ns</sup> b <sup>ns</sup>	c <sup>ns</sup>	-	
Zn	a <sup>ns</sup>	-	b** c**	

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA) и Шефев тест (Scheffé's post-hoc test); (a) *R. pseudoacacia* – *A. altissima*, (b) *R. pseudoacacia* – *A. fruticosa*; (c) *A. altissima* – *A. fruticosa*; \* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.001$ , \*\*\*  $p < 0.001$ , ns – нема статистички значајних разлика

### 5.3. Садржај хемијских елемената у листовима и стељи испитиванх врста биљака на различитим стаништима

#### 5.3.1. Садржај хемијских елемената у листовима и стељи *Robinia pseudoacacia* на различитим стаништима

Двофакторска анализа варијансе (factorial ANOVA) показала је да на варијабилност садржаја хемијских елемената Cr, Cu, Fe, Mn, Ni и Zn у биљном материјалу утичу станиште ( $p < 0.001$ ) и тип биљног материјала ( $p < 0.001$ ), при чему је утицај станишта био израженији код Cr, Mn, Ni и Zn, док је на садржај Cu и Fe већи утицај имао тип биљног материјала (Табела 24).

**Табела 24.** Утицај станишта и типа биљног материјала (лист/стеља) на варијабилност садржаја хемијских елемената код *R. pseudoacacia*

Параметар	Станиште		Тип биљног материјала		Станиште * Тип биљног материјала	
	F	p	F	p	F	p
Cr	1725.144	***	38.982	***	116.866	***
Cu	80.114	***	124.188	***	62.188	***
Fe	11.420	***	713.470	***	102.96	***
Mn	2212.100	***	1165.550	***	15.09	***
Ni	263.381	***	15.391	***	11.000	***
Zn	446.276	***	35.125	***	18.999	***

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA), \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$

Садржај Cr, Cu, Fe, Mn, Ni и Zn у листовима и стељи *R. pseudoacacia* са различитих станишта приказан је у Табели 25. На станишту Делиблатска пешчара садржај хемијских елемената у листовима *R. pseudoacacia* опадао је следећим редоследом: Fe>Mn>Ni>Zn>Cr>Cu, док је у стељи опадајући редослед био: Fe>Mn>Ni>Cr>Zn>Cu. Садржај Cr, Fe и Mn био је статистички значајно већи у стељи у односу на листове *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре ( $p < 0.001$ ). Разлике у садржају Cu, Ni и Zn у листовима и стељи *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре нису биле статистички значајне (ns).

Опадајући редослед хемијских елемената у листовима и стељи *R. pseudoacacia* са депоније пепела ТЕНТ-А био је следећи: Fe>Mn>Ni>Zn>Cu>Cr. Садржај Cu, Fe и Mn ( $p < 0.001$ ), као и садржај Zn ( $p < 0.01$ ) био је статистички значајно већи у стељи у односу на листове *R. pseudoacacia* са депоније пепела ТЕНТ-А. Разлике у садржају Cr и Ni нису биле статистички значајне (ns).

На јаловишту азбеста Страгари опадајући редослед садржаја хемијских елемената у листовима био је: Fe>Mn>Ni >Zn>Cu>Cr, а у стељи Fe>Mn>Zn>Ni>Cu>Cr. Статистички значајно већи садржај Cu, Mn, Zn ( $p < 0.001$ ), као и Fe ( $p < 0.05$ ) имала је стеља у односу на листове *R. pseudoacacia* са јаловишта азбеста Страгари. Са друге стране, садржај Ni био је статистички значајно већи код листова *R. pseudoacacia* у односу на стељу ( $p < 0.01$ ). Разлике у садржају Cr код листова и стеље *R. pseudoacacia* са јаловишта азбеста Страгари нису биле статистички значајне (ns).

**Табела 25.** Садржај хемијских елемената ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) у листовима и стељи *R. pseudoacacia* на различитим стаништима

Параметар Делиблатска пешчара	Листови		Стеља	
	М (SD)	Мин.-Макс.	М (SD)	Мин.-Макс.
Cr	10.85 (0.497)	10.10-11.50	15.10 (0.400) ***	14.70-15.50
Cu	7.23 (0.556) ns	6.64-7.85	6.56 (0.146)	6.44-6.72
Fe	1287.63 (45.101)	1204.20-1327.50	1882.07 (18.226) ***	1867.20- 1902.40
Mn	31.37 (2.051)	29.10-33.80	47.27 (0.404) ***	46.90-47.70
Ni	23.45 (2.242) ns	21.00-25.90	23.10 (0.656)	22.50-23.80
Zn	15.38 (2.729) ns	12.80-18.10	13.80 (0.200)	13.60-14.00
Депонија пепела (ТЕНТ-А)	М (SD)	Мин.-Макс.	М (SD)	Мин.-Макс.
Cr	3.23 (0.409) ns	2.85-3.91	2.35 (0.050)	2.30-2.40
Cu	4.30 (0.139)	4.12-4.52	8.72 (0.035) ***	8.68-8.75
Fe	1271.43 (35.524)	1203.20-1302.40	1910.67 (12.226) ***	1899.30- 1923.60
Mn	52.23 (0.787)	51.00-53.10	75.93 (0.723) ***	75.10-76.40
Ni	44.80 (2.935) ns	41.50-48.00	44.17 (0.473)	43.80-44.70
Zn	15.72 (0.624)	14.90-16.60	20.90 (0.400) **	20.50-21.30
Јаловиште азбеста (Страгари)	М (SD)	Мин.-Макс.	М (SD)	Мин.-Макс.
Cr	4.56 (0.329) ns	4.22-4.92	4.05 (0.040)	4.01-4.09
Cu	7.93 (0.697)	7.25-8.60	10.50 (0.436) ***	10.00-10.80
Fe	1449.00 (57.159)	1389.10-1516.40	1557.47 (27.995) *	1525.20- 1575.30
Mn	76.63 (1.817)	74.30-79.60	96.40 (0.400) ***	96.00-96.80
Ni	31.07 (1.578) **	29.40-32.90	22.53 (0.462)	22.00-22.80
Zn	32.85 (1.631)	31.00-34.80	40.83 (0.551) ***	40.30-41.40

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA) и Шефев тест (Scheffé's post-hoc test); резултати су представљени као М (SD), n=15; Мин. – минималне вредности, Макс. – максималне вредности; \* p<0.05, \*\* p<0.01, \*\*\* p<0.001, ns – нема статистички значајних разлика

Резултати упоредне анализе садржаја хемијских елемената у листовима и стељи *R. pseudoacacia* на различитим стаништима приказани су у Табели 26. Статистички значајно веће вредности Cr, Cu, Fe, Mn и Zn забележене су у листовима *R. pseudoacacia* са јаловишта азбеста Страгари него са депоније пепела ТЕНТ-А (p<0.001). Такође, статистички значајно веће вредности Fe, Mn, Ni и Zn забележене су у листовима *R. pseudoacacia* са јаловишта азбеста Страгари у односу на листове ове врсте из

Делиблатске пешчаре ( $p < 0.001$ ). Садржај Cr и Cu био је статистички значајно већи у листовима *R. pseudoacacia* врсте из Делиблатске пешчаре у односу на депонију пепела ТЕНТ-А ( $p < 0.001$ ), док су вредности Cr биле веће у листовима *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре у односу на листове ове врсте са јаловишта азбеста Страгари ( $p < 0.001$ ). Садржај Mn и Ni био је статистички значајно већи у листовима *R. pseudoacacia* са депоније пепела ТЕНТ-А у односу на листове исте врсте из Делиблатске пешчаре ( $p < 0.001$ ), док је садржај Ni био статистички значајно већи у односу на листове *R. pseudoacacia* са јаловишта азбеста Страгари ( $p < 0.001$ ).

**Табела 26.** Упоредна анализа садржаја хемијских елемената ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) у листовима и стељи *R. pseudoacacia* на различитим стаништима

Параметар	Лист		
	Делиблатска пешчара	Депонија пепела (ТЕНТ-А)	Јаловиште азбеста (Страгари)
Cr	a <sup>***</sup> b <sup>***</sup>	-	c <sup>***</sup>
Cu	a <sup>***</sup>	c <sup>ns</sup>	b <sup>***</sup>
Fe	a <sup>ns</sup>	-	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>
Mn	-	a <sup>***</sup>	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>
Ni	-	a <sup>***</sup> c <sup>***</sup>	b <sup>***</sup>
Zn	a <sup>ns</sup>	-	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>
Параметар	Стеља		
	Делиблатска пешчара	Депонија пепела (ТЕНТ-А)	Јаловиште азбеста (Страгари)
Cr	a <sup>***</sup> b <sup>***</sup>	-	c <sup>**</sup>
Cu	a <sup>ns</sup>	-	b <sup>**</sup> c <sup>***</sup>
Fe	b <sup>***</sup>	a <sup>***</sup> c <sup>***</sup>	-
Mn	-	a <sup>***</sup>	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>
Ni	b <sup>ns</sup>	a <sup>***</sup> c <sup>***</sup>	-
Zn	-	a <sup>**</sup>	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA) и Шефев тест (Scheffé's post-hoc test); (a) Делиблатска пешчара – ТЕНТ-А; (b) Делиблатска пешчара – Страгари; (c) ТЕНТ-А – Страгари; \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$ ; ns – нема статистички значајних разлика

Садржај Cr, Cu, Mn и Zn био је статистички значајно већи у стељи *R. pseudoacacia* са јаловишта азбеста Страгари у односу на садржај ових хемијских елемената у стељи исте врсте са депоније пепела ТЕНТ-А ( $p < 0.001$ ) и Делиблатске пешчаре ( $p < 0.001$ ), осим у случају Cr, где је садржај овог хемијског елемента био већи у стељи *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре у односу на јаловиште азбеста ( $p < 0.001$ ). Вредности Fe, Mn, Ni и Zn биле су веће у стељи *R. pseudoacacia* са депоније пепела у односу на вредности истих хемијских елемената у стељи ове врсте из Делиблатске пешчаре ( $p < 0.001$ ). Садржај Fe и Ni био је статистички значајно већи у стељи ове врсте са депоније пепела ТЕНТ-А у односу на стељу *R. pseudoacacia* са јаловишта азбеста ( $p < 0.001$ ,  $p < 0.01$ ).

### 5.3.2. Садржај хемијских елемената у листовима и стељи *Ailanthus altissima* на различитим стаништима

Двофакторска анализа варијансе (factorial ANOVA) показала је да на варијабилност садржаја хемијских елемената Cr, Cu, Mn, Ni и Zn у листовима и стељи *A. altissima* статистички значајан утицај имају станиште ( $p < 0.001$ ) и тип биљног материјала ( $p < 0.001$ ), при чему је утицај станишта био већи код садржаја Cr, Mn и Ni, док је на садржај Cu и Zn већи утицај имао тип биљног материјала. Утицај станишта и типа биљног материјала на садржај Fe у биљном материјалу није био статистички значајан (ns). Такође, није било статистички значајног утицаја станишта на садржај Zn у биљном материјалу (ns) (Табела 27).

**Табела 27.** Утицај станишта и типа биљног материјала (лист/стеља) на варијабилност садржаја хемијских елемената код *A. altissima*

Параметар	Станиште		Тип биљног материјала		Станиште * Тип биљног материјала	
	F	p	F	p	F	p
Cr	310.920	***	283.560	***	232.070	***
Cu	46.060	***	134.600	***	5.510	*
Fe	0.237	ns	0.149	ns	0.490	ns
Mn	779.615	***	130.045	***	9.956	***
Ni	2150.700	***	5.090	*	23.900	***
Zn	1.420	ns	124.480	***	27.430	***

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA); \*  $p < 0.05$ , \*\*\*  $p < 0.001$ , ns – нема статистичке значајности

Резултати анализе садржаја хемијских елемената у листовима и стељи *A. altissima* са различитих станишта – Делиблатска пешчара, депонија пепела ТЕНТ-А и кречњачко станиште Крш – Велики Шењ приказани су у Табели 28. На станишту Делиблатска пешчара, садржај хемијских елемената у листовима и стељи *A. altissima* опадао је следећим редоследом: Fe>Zn>Mn>Cu>Cr>Ni. Статистички значајно веће вредности Cu ( $p < 0.01$ ), Fe и Zn ( $p < 0.001$ ), као и Mn ( $p < 0.05$ ), имала је стеља *A. altissima* у односу на листове *A. altissima* из Делиблатске пешчаре. Разлике у садржају Cr и Ni између стеље и листова *A. altissima* из Делиблатске пешчаре нису биле статистички значајне (ns).

На депонији пепела ТЕНТ-А опадајући редослед хемијских елемената у листовима и стељи био је следећи: Fe>Zn>Mn>Cr>Cu>Ni. Садржај Cr, Cu, Fe, Mn, Ni и Zn био је статистички значајно већи у стељи у односу на листове *R. pseudoacacia* са депоније пепела ТЕНТ-А ( $p < 0.001$ ).

На кречњачком станишту Крш – Велики Шењ, садржај хемијских елемената у листовима и стељи *A. altissima* опадао је следећим редоследом: Fe>Mn>Zn>Cr> Cu>Ni. Статистички значајно веће вредности Cu и Mn забележене су у стељи у односу на листове *A. altissima* са станишта Велики Шењ ( $p < 0.01$ ,  $p < 0.001$ ). Разлике у садржају Cr, Ni и Zn нису биле статистички значајне (ns).

**Табела 28.** Садржај хемијских елемената ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) у листовима и стељи *A. altissima* на различитим стаништима

Параметар	Листови		Стеља	
	М (SD)	Мин.-Макс.	М (SD)	Мин.-Макс.
<b>Делиблатска пешчара</b>				
Cr	9.02 (0.271) ns	8.69-9.38	10.33 (0.252)	10.10-10.60
Cu	10.18 (0.279)	9.84-10.50	12.33 (0.321) **	12.10-12.70
Fe	3472.100 (68.601)	3395.10-3592.00	4252.00 (132.376) ***	4101.30-4349.50
Mn	16.32 (0.691)	15.40-17.20	22.43 (0.473) *	21.90-22.80
Ni	3.14 (0.078) ns	3.06-3.25	3.26 (0.042)	3.21-3.29
Zn	28.23 (1.699)	26.10-30.10	39.67 (0.586) ***	39.00-40.10
<b>Депонија пепела (ТЕНТ-А)</b>				
Cr	10.92 (0.643)	10.20-11.80	22.87 (0.802) ***	22.10-23.70
Cu	8.78 (0.894)	7.86-9.69	12.60 (0.436) ***	12.10-12.90
Fe	3893.55 (131.564)	3704.10-4023.80	5402.27 (152.403) ***	5226.30-5492.10
Mn	21.17 (2.073)	19.00-23.40	37.10 (0.503) ***	36.10-37.10
Ni	7.53 (0.199)	7.33-7.88	8.23 (0.071) ***	8.09-8.23
Zn	31.62 (2.236)	29.00-34.10	39.10 (0.624) ***	37.90-39.10
<b>Кречњачко станиште (Крш – Велики Шењ)</b>				
Cr	15.97 (0.880) ns	14.90-17.00	15.53 (0.451)	15.10-16.00
Cu	12.22 (0.601)	11.20-12.80	14.40 (0.265) **	14.20-14.70
Fe	4580.08 (60.415) ns	4503.40-4671.80	4514.60 (86.291)	4431.30-4603.60
Mn	55.75 (3.790)	51.20-59.90	64.33 (0.666) ***	63.90-65.10
Ni	5.47 (0.181) ns	5.25-5.71	5.12 (0.090)	5.03-5.21
Zn	34.30 (0.465)	33.80-35.00	35.27 (0.379) ns	35.00-35.70

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA) и Шефев тест (Scheffé's post-hoc test); резултати су представљени као М (SD), n=15; Мин. – минималне вредности, Макс. – максималне вредности; \* p<0.05, \*\* p<0.01, \*\*\* p<0.001, ns – нема статистички значајних разлика

Резултати упоредне анализе садржаја хемијских елемената у листовима и стељи *A. altissima* на различитим стаништима приказани су у Табели 29. Статистички значајно веће вредности садржаја испитиваних метала су забележене у листовима *A. altissima* са кречњачког станишта Крш – Велики Шењ у односу на листове ове врсте са депоније пепела ТЕНТ-А (p<0.001), осим у случају Ni, чије су веће концентрације забележене у листовима *A. altissima* са депоније пепела ТЕНТ-А (p<0.001). Садржај Cr, Cu, Fe, Mn (p<0.001), као и садржај Zn (p<0.05) био је статистички значајно већи у листовима *A. altissima* са кречњачког станишта Крш – Велики Шењ у односу на листове ове врсте из

Делиблатске пешчаре. Садржај  $\text{Cu}$  био је статистички значајно већи у листовима *A. altissima* из Делиблатске пешчаре у односу на ТЕНТ-А ( $p < 0.01$ ), док су листови ове врсте са депоније пепела ТЕНТ-А имали статистички значајно веће концентрације  $\text{Cr}$  ( $p < 0.05$ ),  $\text{Fe}$  ( $p < 0.001$ ),  $\text{Mn}$  ( $p < 0.001$ ),  $\text{Ni}$  ( $p < 0.001$ ) и  $\text{Zn}$  ( $p < 0.05$ ) у односу на Делиблатску пешчару.

**Табела 29.** Упоредна анализа садржаја хемијских елемената ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) у листовима и стељи *A. altissima* на различитим стаништима

Параметар	Лист		
	Делиблатска пешчара	Депонија пепела (ТЕНТ-А)	Кречњачко станиште (Крш – Велики Шењ)
<b>Cr</b>	-	a*	b*** c***
<b>Cu</b>	a**	-	b*** c***
<b>Fe</b>	-	a***	b*** c***
<b>Mn</b>	-	a*	b*** c***
<b>Ni</b>	-	a*** c***	b***
<b>Zn</b>	-	a*	b* c***
	Стеља		
	Делиблатска пешчара	Депонија пепела (ТЕНТ-А)	Кречњачко станиште (Крш – Велики Шењ)
<b>Cr</b>	-	a*** c***	b***
<b>Cu</b>	a <sup>ns</sup>	-	b* c*
<b>Fe</b>	b <sup>ns</sup>	a*** c***	-
<b>Mn</b>	-	a***	b*** c***
<b>Ni</b>	-	a*** c***	b***
<b>Zn</b>	a <sup>ns</sup> b*	c <sup>ns</sup>	-

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA) и Шефев тест (Scheffé's post-hoc test); (a) Делиблатска пешчара – ТЕНТ-А; (b) Делиблатска пешчара – Крш – Велики Шењ; (c) ТЕНТ-А – Крш – Велики Шењ; \*  $p < 0.05$ , \*\*\*  $p < 0.001$ ; ns – нема статистички значајних разлика

Статистички значајно веће вредности садржаја  $\text{Cr}$ ,  $\text{Fe}$ , и  $\text{Ni}$  су забележене у стељи *A. altissima* са депоније пепела ТЕНТ-А у односу на стељу са кречњачког станишта Крш – Велики Шењ ( $p < 0.001$ ), док је садржај  $\text{Mn}$  ( $p < 0.001$ ) и  $\text{Cu}$  ( $p < 0.05$ ) статистички значајно био већи у стељи *A. altissima* са кречњачког станишта Крш – Велики Шењ у односу на Делиблатску пешчару. Садржај  $\text{Cr}$ ,  $\text{Mn}$  и  $\text{Ni}$  ( $p < 0.001$ ), као и  $\text{Cu}$  ( $p < 0.05$ ) је статистички значајно био већи у стељи *A. altissima* са кречњачког станишта Крш – Велики Шењ у односу на стељу из Делиблатске пешчаре, док је садржај  $\text{Zn}$  статистички значајно био већи у стељи *A. altissima* из Делиблатске пешчаре у односу на кречњачко станиште Крш – Велики Шењ ( $p < 0.05$ ). Стеља *A. altissima* са депоније пепела ТЕНТ-А имала је статистички значајно веће вредности  $\text{Cr}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{Mn}$  и  $\text{Ni}$  у односу на стељу *A. altissima* из Делиблатске пешчаре ( $p < 0.001$ ).

### 5.3.3. Садржај хемијских елемената у листовима и стељи *Amorpha fruticosa* на различитим стаништима

Двофакторска анализа варијансе (factorial ANOVA) показала је да на варијабилност садржаја хемијских елемената Cr, Cu, Fe, Mn, Ni и Zn у листовима и стељи *A. fruticosa* утичу и станиште ( $p < 0.001$ ) и тип биљног материјала ( $p < 0.001$ ), при чему је станиште имало већи утицај на садржај Cr, Mn и Ni ( $p < 0.001$ ), док је на садржај Cu, Fe и Zn већи утицај имао тип биљног материјала ( $p < 0.001$ ). Утицај типа биљног материјала на садржај Ni није био статистички значајан (ns) (Табела 30).

Табела 30. Утицај станишта и типа биљног материјала (лист/стеља) на варијабилност садржаја хемијских елемената код *A. fruticosa*

Параметар	Станиште		Тип биљног материјала		Станиште * Тип биљног материјала	
	F	p	F	p	F	p
Cr	3272.740	***	11.960	*	24.010	***
Cu	10.290	***	30.736	***	1.816	ns
Fe	211.500	***	271.250	***	0.280	ns
Mn	653.660	***	23.930	***	78.080	***
Ni	20.917	***	0.381	ns	2.063	ns
Zn	5.59	*	114.330	***	66.080	***

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA); \*  $p < 0.05$ , \*\*\*  $p < 0.001$ , ns – нема статистичке значајности.

Садржај испитиваних хемијских елемената у листовима и стељи *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре, са депоније пепела ТЕНТ-А и са алувијалног наноса Велике Мораве (Багрдан) приказан је у Табели 31. Опадајући редослед хемијских елемената у листовима и стељи *A. fruticosa* био је: Fe>Mn>Zn>Cu>Cr>Ni. Статистички значајно веће концентрације Fe и Zn ( $p < 0.001$ ), Mn ( $p < 0.01$ ), као и Cu ( $p < 0.05$ ) имала је стеља у односу на листове *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре. Разлике у садржају Cr и Ni нису биле статистички значајне (ns).

На депонији пепела ТЕНТ-А опадајући редослед садржаја хемијских елемената у листовима и стељи ове врсте био је: Fe>Mn>Zn>Cu>Ni>Cr. Статистички значајно веће вредности Fe, Mn и Zn имала је стеља *A. fruticosa* у односу на листове *A. fruticosa* ( $p < 0.001$ ), док су концентрације Cr биле статистички значајно веће у листовима у односу на стељу *A. fruticosa* са депоније пепела ТЕНТ-А. Разлике у садржају Cu и Ni нису биле статистички значајне (ns).

Садржај испитиваних хемијских елемената у листовима и стељи *A. fruticosa* са алувијалног наноса Велике Мораве опадао је по следећем распореду: Fe>Mn>Zn>Cu>Ni. Статистички значајно веће концентрације Mn имали су листови у односу на стељу *A. fruticosa*, док су разлике у садржају осталих испитиваних метала биле без статистичке значајности (ns). У листовима и стељи *A. fruticosa* са алувијалног наноса Велике Мораве концентрације Cr биле су испод границе детекције (ND).



**Табела 31.** Садржај хемијских елемената ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) у листовима и стељи *A. fruticosa* на различитим стаништима

Параметар	Листови		Стеља	
	М (SD)	Мин.-Макс.	М (SD)	Мин.-Макс.
<b>Делиблатска пешчара</b>				
Cr	6.79 (0.318) ns	6.37-7.12	7.03 (0.065)	6.96-7.09
Cu	8.28 (0.715)	7.55-9.05	10.83 (0.321) *	10.60-11.20
Fe	1020.950 (60.881)	979.4000- 1134.200	1533.50 (21.235) ***	1511.600- 1554.000
Mn	53.85 (1.829)	51.40-56.00	64.73 (0.603) **	64.10-65.30
Ni	4.28 (0.285) ns	3.98-4.68	4.26 (0.046)	4.22-4.31
Zn	34.65 (2.211)	32.10-37.50	50.50 (0.889) ***	49.80-51.50
<b>Депонија пепела (ГЕНТ-А)</b>				
Cr	8.33 (0.280) ***	8.03-8.68	7.20 (0.110)	7.09-7.31
Cu	10.17 (1.368) ns	8.88-11.80	12.13 (0.321)	11.90-12.50
Fe	1433.483 (66.006)	1356.100- 1541.100	2347.633 (46.056) ***	2298.300- 2389.500
Mn	72.02 (1.746)	70.30-74.10	94.30 (0.818) ***	93.60-95.20
Ni	9.23 (0.133) ns	9.06-9.45	8.10 (0.087)	8.00-8.17
Zn	39.00 (1.694)	37.00-41.40	48.73 (0.665) ***	48.30-49.50
<b>Алувијални нанос Велике Мораве (Багрдан)</b>				
Cr	ND	ND	ND	ND
Cu	10.65 (0.554) ns	10.10-11.40	11.67 (0.208)	11.50-11.90
Fe	1903.15 (100.270) ns	1795.100- 2004.800	1850.133 (28.832)	1825.400- 1881.800
Mn	121.70 (5.663) ***	116.00-128.40	106.80 (0.624)	106.30-107.50
Ni	8.77 (3.802) ns	1.04-10.80	11.33 (0.416)	11.00-11.80
Zn	47.07 (1.933) ns	44.80-49.60	43.77 (0.666)	43.20-44.50

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA) и Шефеов тест (Scheffé's post-hoc test); резултати су представљени као М (SD), n=15; Мин. – минималне вредности, Макс. – максималне вредности; \* p<0.05, \*\* p<0.01, \*\*\* p<0.001, ns – нема статистички значајних разлика, ND – није детектовано

Резултати упоредне анализе садржаја хемијских елемената у листовима и стељи *A. fruticosa* на различитим стаништима приказани су у Табели 32. Садржај Cr, Fe и Mn био је статистички значајно већи у листовима *A. fruticosa* са депоније пепела ГЕНТ-А у односу на Делиблатску пешчару (p<0.001). Такође, статистички значајно веће вредности имали су листови *A. fruticosa* са депоније пепела ГЕНТ-А у односу на

Делиблатску пешчару у погледу садржаја Ni ( $p < 0.01$ ) и Zn ( $p < 0.05$ ). Статистички значајно веће концентрације Fe, Mn и Zn имали су листови *A. fruticosa* са алувијалног наноса Велике Мораве (Багрдан) у односу на Делиблатску пешчару ( $p < 0.001$ ), као и концентрације Cu ( $p < 0.01$ ) и Ni ( $p < 0.05$ ). Такође, статистички значајно веће концентрације Fe и Mn су детектоване у листовима *A. fruticosa* са алувијалног наноса Велике Мораве (Багрдан) у односу на листове ове врсте са депоније пепела ТЕНТ-А ( $p < 0.001$ ).

**Табела 32.** Упоредна анализа садржаја хемијских елемената ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) у листовима и стељи *A. fruticosa* на различитим стаништима

Параметар	Лист		
	Делиблатска пешчара	Депонија пепела (ТЕНТ-А)	Алувијални нанос Велике Мораве (Багрдан)
Cr	-	a <sup>***</sup>	ND
Cu	-	a <sup>*</sup> c <sup>ns</sup>	b <sup>**</sup>
Fe	-	a <sup>***</sup>	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>
Mn	-	a <sup>***</sup>	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>
Ni	-	a <sup>**</sup> c <sup>ns</sup>	b <sup>*</sup>
Zn	-	a <sup>*</sup>	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>
	Стеља		
	Делиблатска пешчара	Депонија пепела (ТЕНТ-А)	Алувијални нанос Велике Мораве (Багрдан)
Cr	a <sup>ns</sup>	-	ND
Cu	a <sup>ns</sup> b <sup>ns</sup>	c <sup>ns</sup>	-
Fe	-	a <sup>***</sup> c <sup>***</sup>	b <sup>***</sup>
Mn	-	a <sup>**</sup>	b <sup>***</sup> c <sup>**</sup>
Ni	a <sup>ns</sup>	c <sup>ns</sup>	b <sup>**</sup>
Zn	a <sup>ns</sup> b <sup>**</sup>	c <sup>ns</sup>	-

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA) и Шефеов тест (Scheffé's post-hoc test); (a) Делиблатска пешчара – ТЕНТ-А, (b) Делиблатска пешчара – Велика Морава (Багрдан); (c) ТЕНТ-А – Велика Морава (Багрдан); \* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.05$ , \*\*\*  $p < 0.001$ , ns – нема статистички значајних разлика, ND – није детектовано

Садржај Fe и Mn је статистички значајно био већи у стељи *A. fruticosa* са депоније пепела ТЕНТ-А у односу на стељу ове врсте из Делиблатске пешчаре ( $p < 0.001$ ). Концентрације Fe и Mn су статистички значајно биле веће у стељи *A. fruticosa* са алувијалног наноса Велике Мораве (Багрдан) у односу на Делиблатску пешчару ( $p < 0.001$ ), као и концентрације Ni ( $p < 0.01$ ). Међутим, садржај Zn је био статистички значајно већи у стељи *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре у односу на стељу са алувијалног наноса Велике Мораве (Багрдан) ( $p < 0.01$ ). Разлике у садржају Cr и Cu у стељи *A. fruticosa* са испитиваних станишта нису биле статистички значајне (ns).

### 5.3.4. Садржај хемијских елемената у листовима и стељи – упоредна анализа испитиваних биљних врста

Резултати двофакторске анализе варијансе (factorial ANOVA), у којој је анализиран утицај фактора станиште и врста биљке на варијабилност садржаја хемијских елемената у листовима и стељи испитиваних врста, приказани су у Табели 33. На садржај Cr, Cu, Fe, Mn, Ni и Zn у листовима и стељи статистички значајан утицај имали су станиште и врста биљке, при чему је утицај врсте биљке био израженији ( $p < 0.001$ ). Утицај станишта на варијабилност садржаја Cr, Cu и Zn у листовима, и садржаја Cr у стељи није био статистички значајан (ns).

**Табела 33.** Утицај станишта и врсте биљке на варијабилност садржаја хемијских елемената у листовима и стељи испитиваних биљних врста

Параметар	Лист					
	Станиште		Врста биљке		Станиште * Врста биљке	
	F	p	F	p	F	p
Cr	1.68	ns	<b>18.69</b>	***	36.97	***
Cu	0.09	ns	<b>36.33</b>	***	4.64	**
Fe	10.81	***	<b>198.15</b>	***	10.81	ns
Mn	58.74	***	<b>132.37</b>	***	4.53	*
Ni	890.41	***	<b>3016.80</b>	***	268.54	***
Zn	2.70	ns	<b>113.58</b>	***	0.02	ns
	Стеља					
	Станиште		Врста биљке		Станиште * Врста биљке	
	F	p	F	p	F	p
Cr	0.01	ns	<b>1047.32</b>	***	1624.50	***
Cu	79.75	***	<b>448.94</b>	***	15.48	***
Fe	272.03	***	<b>2318.10</b>	***	68.08	***
Mn	7152.11	***	<b>10524.36</b>	***	307.43	***
Ni	3977.29	***	<b>13740.67</b>	***	1252.85	***
Zn	25.21	***	<b>4501.53</b>	***	100.94	***

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA), \*  $p < 0.05$ , \*\*\*  $p < 0.001$ , ns – нема статистичке значајности

Резултати упоредне анализе садржаја хемијских елемената у листовима и стељи испитиваних врста биљака из Делиблатске пешчаре и са депоније пепела ТЕНТ-А приказани су у Табели 34. Листови *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре имали су статистички значајно веће концентрације Cr у односу на *A. altissima* и *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре ( $p < 0.001$ ). Такође, садржај Cr био је статистички значајно већи у листовима *A. altissima* у односу на *A. fruticosa* ( $p < 0.001$ ). Листови *A. altissima* имали су статистички значајно веће концентрације Cu у односу на *R. pseudoacacia* и *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре ( $p < 0.001$ ,  $p < 0.05$ ). Разлике у садржају Cu у листовима *R. pseudoacacia* и *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре нису биле статистички значајне (ns). Садржај Fe био је статистички значајно већи у листовима *A. altissima* у односу на листове *R. pseudoacacia* и *A. fruticosa* ( $p < 0.001$ ), као и у листовима *R. pseudoacacia* у односу на *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре ( $p < 0.001$ ). Листови *A. fruticosa* имали су статистички значајно веће концентрације Mn у односу на листове *R. pseudoacacia* и *A. altissima* ( $p < 0.001$ ). Такође, статистички значајно веће вредности Mn забележене су у листовима *R. pseudoacacia* у односу на *A. altissima* из Делиблатске пешчаре ( $p < 0.001$ ). Листови *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре имали су статистички значајно веће концентрације Ni у односу на листове *A. altissima* и *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре ( $p < 0.001$ ), док су разлике у садржају Ni у листовима *A. altissima* и *A. fruticosa* из

Делиблатске пешчаре биле без статистичке значајности (ns). Садржај Zn у листовима *A. fruticosa* био је статистички значајно већи у односу на листове *R. pseudoacacia* и *A. altissima* из Делиблатске пешчаре ( $p < 0.001$ ). Такође, листови *A. altissima* из Делиблатске пешчаре имали су статистички значајно веће вредности Zn у односу на листове *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре ( $p < 0.001$ ).

**Табела 34.** Упоредна анализа садржаја хемијских елемената у листовима испитиваних врста биљака на различитим стаништима

Параметар	Врста биљке			Станиште
	<i>R. pseudoacacia</i>	<i>A. altissima</i>	<i>A. fruticosa</i>	
Cr	a <sup>***</sup> b <sup>***</sup>	c <sup>***</sup>	-	Делиблатска пешчара
Cu	b <sup>ns</sup>	a <sup>***</sup> c <sup>*</sup>	-	
Fe	b <sup>***</sup>	a <sup>***</sup> c <sup>***</sup>	-	
Mn	a <sup>***</sup>	-	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>	
Ni	a <sup>***</sup> b <sup>***</sup>	c <sup>ns</sup>	-	
Zn	-	a <sup>***</sup>	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>	
	<i>R. pseudoacacia</i>	<i>A. altissima</i>	<i>A. fruticosa</i>	Депонија пепела (ТЕНТ-А)
Cr	-	a <sup>***</sup> c <sup>***</sup>	b <sup>***</sup>	
Cu	-	a <sup>***</sup> c <sup>ns</sup>	b <sup>***</sup>	
Fe	-	a <sup>***</sup> c <sup>***</sup>	b <sup>***</sup>	
Mn	a <sup>***</sup>	-	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>	
Ni	a <sup>***</sup> b <sup>***</sup>	c <sup>ns</sup>	-	
Zn	-	a <sup>***</sup>	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>	

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA) и Шефев тест (Scheffé's post-hoc test); (a) *R. pseudoacacia* – *A. altissima*, (b) *R. pseudoacacia* – *A. fruticosa*; (c) *A. altissima* – *A. fruticosa*; \* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.001$ , \*\*\*  $p < 0.001$ , ns – нема статистички значајних разлика

Листови *A. altissima* са депоније пепела ТЕНТ-А имали су статистички значајно веће концентрације Cr у односу на *R. pseudoacacia* и *A. fruticosa* са депоније пепела ТЕНТ-А ( $p < 0.001$ ). Такође, садржај Cr био је статистички значајно већи у листовима *A. fruticosa* у односу на *R. pseudoacacia* са депоније пепела ТЕНТ-А ( $p < 0.001$ ). Листови *A. fruticosa* и *A. altissima* имали су статистички значајно веће концентрације Cu у односу на листове *R. pseudoacacia* са депоније пепела ТЕНТ-А ( $p < 0.001$ ,  $p < 0.05$ ), док разлике у садржају Cu у листовима *A. altissima* и *A. fruticosa* са депоније пепела ТЕНТ-А нису биле статистички значајне (ns). Листови *A. altissima* са депоније пепела ТЕНТ-А имали су статистички значајно веће концентрације Fe у односу на листове *R. pseudoacacia* и *A. fruticosa* ( $p < 0.001$ ). Такође, садржај Fe био је статистички значајно већи у листовима *A. fruticosa* у односу на *R. pseudoacacia* са депоније пепела ТЕНТ-А ( $p < 0.001$ ). Листови *A. fruticosa* имали су статистички значајно веће концентрације Mn у односу на листове *R. pseudoacacia* и *A. altissima* са депоније пепела ТЕНТ-А ( $p < 0.001$ ). Такође, статистички значајно веће вредности Mn имали су листови *R. pseudoacacia* у односу на *A. altissima* ( $p < 0.001$ ). Листови *R. pseudoacacia* са депоније пепела ТЕНТ-А имали су статистички значајно веће концентрације Ni у односу на листове *A. altissima* и *A. fruticosa* ( $p < 0.001$ ), док су разлике у садржају Ni у листовима *A. altissima* и *A. fruticosa* биле без статистичке значајности (ns). Садржај Zn у листовима *A. fruticosa* био је статистички значајно већи у односу на листове *R. pseudoacacia* и *A. altissima* са депоније пепела ТЕНТ-А ( $p < 0.001$ ). Такође, листови *A. altissima* имали су статистички значајно веће вредности Zn у односу на листове *R. pseudoacacia* са депоније пепела ТЕНТ-А ( $p < 0.001$ ).

Резултати упоредне анализе садржаја хемијских елемената у стељи *R. pseudoacacia*, *A. altissima* и *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре и са депоније пепела ТЕНТ-А приказани су у Табели 35. Стеља *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре

имала је статистички значајно веће концентрације Cr у односу на стељу *A. altissima* и *A. fruticosa* ( $p < 0.001$ ). Такође, значајно веће концентрације Cr имала је стеља *A. altissima* у односу на *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре ( $p < 0.001$ ). Садржај Cu био је статистички значајно већи у стељи *A. altissima* у односу на *R. pseudoacacia* и *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре ( $p < 0.001$ ). Такође, садржај Cu био је статистички значајно већи у стељи *A. fruticosa* у односу на стељу *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре ( $p < 0.001$ ). Садржај Fe био је значајно већи у стељи *A. altissima* из Делиблатске пешчаре у односу на стељу *R. pseudoacacia* и *A. fruticosa* ( $p < 0.001$ ), као и у стељи *R. pseudoacacia* у односу на стељу *A. fruticosa* ( $p < 0.05$ ). Стеља *A. fruticosa* имала је статистички значајно веће концентрације Mn у односу на стељу *R. pseudoacacia* и *A. altissima* из Делиблатске пешчаре ( $p < 0.001$ ). Такође, статистички значајно веће вредности Mn забележене су у стељи *R. pseudoacacia* у односу на стељу *A. altissima* из Делиблатске пешчаре ( $p < 0.001$ ). Стеља *R. pseudoacacia* је имала статистички значајно веће концентрације Ni у односу на стељу *A. altissima* и *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре ( $p < 0.001$ ), док су разлике у садржају Ni у стељи *A. altissima* и *A. fruticosa* биле без статистичке значајности (ns). Садржај Zn у стељи *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре био је статистички значајно већи у односу на стељу *R. pseudoacacia* и *A. altissima* ( $p < 0.001$ ). Такође, стеља *A. altissima* имала је статистички значајно веће вредности Zn у односу на стељу *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре ( $p < 0.001$ ).

**Табела 35.** Упоредна анализа садржаја хемијских елемената у стељи испитиваних врста биљака на различитим стаништима

Параметар	Врста биљке			Станиште
	<i>R. pseudoacacia</i>	<i>A. altissima</i>	<i>A. fruticosa</i>	
Cr	a <sup>***</sup> b <sup>***</sup>	c <sup>***</sup>	-	Делиблатска пешчара
Cu	-	a <sup>***</sup> c <sup>**</sup>	b <sup>***</sup>	
Fe	b <sup>*</sup>	a <sup>***</sup> c <sup>***</sup>	-	
Mn	a <sup>***</sup>	-	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>	
Ni	a <sup>***</sup> b <sup>***</sup>	c <sup>ns</sup>	-	
Zn	-	a <sup>***</sup>	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>	
	<i>R. pseudoacacia</i>	<i>A. altissima</i>	<i>A. fruticosa</i>	
Cr	-	a <sup>***</sup> c <sup>***</sup>	b <sup>***</sup>	
Cu	-	a <sup>***</sup> c <sup>ns</sup>	b <sup>***</sup>	
Fe	-	a <sup>***</sup> c <sup>***</sup>	b <sup>**</sup>	
Mn	a <sup>***</sup>	-	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>	
Ni	a <sup>***</sup> b <sup>***</sup>	c <sup>ns</sup>	-	
Zn	-	a <sup>***</sup>	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>	

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA) и Шефев тест (Scheffé's post-hoc test); (a) *R. pseudoacacia* – *A. altissima*, (b) *R. pseudoacacia* – *A. fruticosa*; (c) *A. altissima* – *A. fruticosa*; \* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.001$ , \*\*\*  $p < 0.001$ , ns – нема статистички значајних разлика

Стеља *A. altissima* са депоније пепела ТЕНТ-А имала је статистички значајно веће концентрације Cr у односу на стељу *R. pseudoacacia* и *A. fruticosa* ( $p < 0.001$ ). Такође, садржај Cr био је статистички значајно већи у стељи *A. fruticosa* у односу на стељу *R. pseudoacacia* са депоније пепела ТЕНТ-А ( $p < 0.001$ ). Стеља *A. fruticosa* и *A. altissima* имала је значајно веће концентрације Cu у односу на стељу *R. pseudoacacia* ( $p < 0.001$ ), док разлике у садржају Cu у стељи *A. altissima* и *A. fruticosa* са депоније пепела ТЕНТ-А нису биле статистички значајне (ns). Стеља *A. altissima* имала је статистички значајно веће концентрације Fe у односу на стељу *R. pseudoacacia* и *A. fruticosa* са депоније пепела ТЕНТ-А ( $p < 0.001$ ). Такође, садржај Fe био је значајно већи у стељи *A. fruticosa* у односу на стељу *R. pseudoacacia* ( $p < 0.01$ ). Стеља *A. fruticosa*

имала је статистички значајно веће концентрације Mn у односу на стељу *R. pseudoacacia* и *A. altissima* са депоније пепела ТЕНТ-А ( $p < 0.001$ ). Такође, значајно веће вредности Mn имала је стеља *R. pseudoacacia* у односу на стељу *A. altissima* ( $p < 0.001$ ). Стеља *R. pseudoacacia* имала је значајно веће концентрације Ni у односу на стељу *A. altissima* и *A. fruticosa* ( $p < 0.001$ ), док су разлике у садржају Ni у стељи *A. altissima* и *A. fruticosa* са депоније пепела ТЕНТ-А биле без статистичке значајности (ns). Садржај Zn у стељи *A. fruticosa* био је статистички значајно већи у односу на стељу *R. pseudoacacia* и *A. altissima* са депоније пепела ТЕНТ-А ( $p < 0.001$ ). Такође, стеља *A. altissima* имала је статистички значајно веће вредности Zn у односу на стељу *R. pseudoacacia* са депоније пепела ТЕНТ-А ( $p < 0.001$ ).

## 5.4 Садржај фенолних једињења у супстрату испитиваних врста биљака на различитим стаништима

### 5.4.1. Садржај фенолних једињења у супстрату *Robinia pseudoacacia* на различитим стаништима

Резултати двофакторске анализе варијансе (factorial ANOVA) указују да на варијабилност рутина већи утицај има тип супстрата (контролни/ризосферни) него станиште ( $p < 0.01$ ), док је код осталих испитиваних једињења станиште имало већи утицај ( $p < 0.001$ ). Утицај типа супстрата на варијабилност садржаја 3,5-DHBA и 3-НВА није био статистички значајан (ns) (Табела 36).

Табела 36. Утицај станишта и типа супстрата (контролни/ризосферни) на варијабилност садржаја фенолних једињења у супстрату *R. pseudoacacia*

Параметар	Станиште		Тип супстрата		Станиште * Тип супстрата	
	F	P	F	p	F	p
3,5-DHBA	43.384	***	1.103	ns	7.985	**
3-НВА	50.972	***	1.149	ns	1.168	ns
Ферулинска киселина	30.309	***	12.835	***	9.279	***
<i>n</i> -Кумаринска киселина	55634.390	***	7477.560	***	7477.560	***
Рутин	4.408	*	8.398	**	3.257	*

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA), \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$ , ns – нема статистичке значајности

Концентрације испитиваних фенолних једињења у контролном и ризосферном супстрату *A. fruticosa* на различитим стаништима приказане су у Табели 37. Статистички значајно веће концентрације *n*-кумаринске киселине имао је контролни супстрат у односу на ризосферни супстрат *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре ( $p < 0.001$ ), док је садржај 3,5-DHBA био статистички значајно већи у ризосферном супстрату ( $p < 0.05$ ). Разлике у садржају 3-НВА, ферулинске киселине и рутина између контролног супстрата и ризосферног супстрата *R. pseudoacacia* нису биле статистички значајне (ns). На депонији пепела ТЕНТ-А утврђене су статистички значајно веће концентрације ферулинске киселине, као и рутина у ризосферном супстрату *R. pseudoacacia*, у односу на контролни супстрат ( $p < 0.001$ ). Разлике у садржају 3,5-DHBA и 3-НВА нису биле статистички значајне (ns), док *n*-кумаринска киселина није детектована у контролном и ризосферном супстрату са депоније пепела ТЕНТ-А. На јаловишту азбеста Страгари није детектовано ни једно од испитиваних фенолних једињења у контролном и ризосферном супстрату *R. pseudoacacia* (ND).

**Табела 37.** Садржај фенолних једињења ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) у контролном и ризосферном супстрату *R. pseudoacacia* на различитим стаништима

Параметар	Контролни супстрат		Ризосферни супстрат	
	М (SD)	Мин.-Макс.	М (SD)	Мин.-Макс.
<b>Делиблатска пешчара</b>				
<b>3,5-DHBA</b>	0.366 (0.002)	0.363-0.371	0.697 (0.340) <sup>*</sup>	0.264-1.166
<b>3-НВА</b>	0.722 (0.018) <sub>ns</sub>	0.684-0.754	0.552 (0.374)	0.185-1.218
<b>Ферулинска киселина</b>	1.457 (0.045) <sub>ns</sub>	1.353-1.515	1.669 (0.650)	0.534-2.929
<b><i>n</i>-Кумаринска киселина</b>	5.465 (0.098) <sup>***</sup>	5.274-5.665	2.533 (1.929)	2.468-2.567
<b>Рутин</b>	0.183 (0.003) <sub>ns</sub>	0.177 – 0.192	0.649 (0.370)	0.059-1.635
<b>Депонија пепела (ТЕНТ-А)</b>				
<b>3,5-DHBA</b>	0.57 (0.0437) <sub>ns</sub>	0.487-0.661	0.40 (0.215)	0.16-0.650
<b>3-НВА</b>	0.19 (0.013) <sub>ns</sub>	0.175-0.224	0.19 (0.010)	0.18-0.210
<b>Ферулинска киселина</b>	0.67 (0.014)	0.640-0.698	2.51 (1.392) <sup>***</sup>	0.88-4.180
<b><i>n</i>-Кумаринска киселина</b>	ND	-	ND	-
<b>Рутин</b>	0.09 (0.006)	0.08-0.11	1.26 (0.550) <sup>***</sup>	0.12-2.470
<b>Јаловиште азбеста (Страгари)</b>				
<b>3,5-DHBA</b>	ND	-	ND	-
<b>3-НВА</b>	ND	-	ND	-
<b>Ферулинска киселина</b>	ND	-	ND	-
<b><i>n</i>-Кумаринска киселина</b>	ND	-	ND	-
<b>Рутин</b>	ND	-	ND	-

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA) и Шефеов тест (Scheffé's post-hoc test); резултати су представљени као М (SD), n=15; Мин. – минималне вредности, Макс. – максималне вредности; \* p<0.05, \*\*\* p<0.001, ns – нема статистички значајних разлика, ND – није детектовано

Резултати упоредне анализе садржаја фенолних једињења у контролном и ризосферном супстрату врсте *R. pseudoacacia* на различитим стаништима приказани су у Табели 38. Контролни супстрат са депоније пепела ТЕНТ-А имао је статистички значајно веће вредности 3,5-DHBA у односу на Делиблатску пешчару (p<0.001). Статистички значајно веће вредности 3-НВА, ферулинске и *n*-кумаринске киселине забележене су у контролном супстрату из Делиблатске пешчаре у односу на контролни супстрат са депоније пепела ТЕНТ-А (p<0.001). Такође, ризосферни супстрат из Делиблатске пешчаре имао је статистички значајно веће вредности 3-НВА и *n*-кумаринске киселине у односу на ризосферни супстрат са депоније пепела ТЕНТ-А (p<0.05, p<0.001).



**Табела 38.** Упоредна анализа садржаја фенолних једињења ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) у контролном и ризосферном супстрату *R. pseudoacacia* на различитим стаништима

Параметар	Контролни супстрат		
	Делиблатска пешчара	Депонија пепела (ТЕНТ)	Јаловиште азбеста (Страгари)
3,5-ДНВА	-	a <sup>***</sup>	ND
3-НВА	a <sup>***</sup>	-	ND
Ферулинска киселина	a <sup>***</sup>	-	ND
<i>n</i> -Кумаринска киселина	a <sup>***</sup>	ND	ND
Рутин	a <sup>ns</sup>	-	ND
	Ризосферни супстрат		
	Делиблатска пешчара	Депонија пепела (ТЕНТ)	Јаловиште азбеста (Страгари)
3,5-ДНВА	a <sup>ns</sup>	-	ND
3-НВА	a <sup>*</sup>	-	ND
Ферулинска киселина	a <sup>ns</sup>	-	ND
<i>n</i> -Кумаринска киселина	a <sup>***</sup>	ND	ND
Рутин	a <sup>ns</sup>	-	ND

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA) и Шефев тест (Scheffé's post-hoc test); (a) Делиблатска пешчара – ТЕНТ-А; (b) Делиблатска пешчара – Страгари; (c) ТЕНТ-А – Страгари; \*  $p < 0.05$ , \*\*\*  $p < 0.001$ ; ns – нема статистички значајних разлика, ND – није детектовано

#### 5.4.2. Садржај фенолних једињења у супстрату *Ailanthus altissima* на различитим стаништима

Резултати двофакторске анализе варијансе (factorial ANOVA) указују да на варијабилност 3,5-ДНВА, 3-ДНВА и рутина у супстрату код *A. altissima*, већи утицај има станиште ( $p < 0.001$ ), док је на варијабилност садржаја ферулинске киселине већи утицај имао тип супстрата ( $p < 0.05$ ) (Табела 39).

**Табела 39.** Утицај станишта и типа супстрата на варијабилност садржаја фенолних једињења у супстрату *A. altissima*

Параметар	Станиште		Тип супстрата		Станиште * Тип супстрата	
	F	P	F	p	F	p
3,5-ДНВА	10544.060	***	9109.320	***	7529.700	***
3-НВА	1242.661	***	48.431	***	21.732	***
Ферулинска киселина	3.942	*	4.121	*	3.927	*
<i>n</i> -Кумаринска киселина	-	-	-	-	-	-
Рутин	33.011	***	12.112	**	5.363	**

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA), \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$

Садржај фенолних једињења у контролном и ризосферном супстрату *A. altissima* на различитим стаништима приказан је у Табели 40. Статистички значајно веће вредности 3,5-ДНВА и рутина имао је ризосферни супстрат *A. altissima* у односу на контролни супстрат из Делиблатске пешчаре ( $p < 0.01$ ). Разлике у садржају 3-НВА и ферулинске киселине у контролном и ризосферном супстрату *A. altissima* из Делиблатске пешчаре нису биле статистички значајне (ns). У контролном супстрату је детектована *n*-кумаринска киселина док у ризосферном супстрату није била детектована (ND).

На депонији пепела ТЕНТ-А статистички значајно веће вредности 3,5-ДНВА имао је контролни супстрат, у односу на ризосферни супстрат *A. altissima* ( $p < 0.001$ ).

Разлике у садржају 3-НВА, ферулинске киселине и рутина између контролног супстрата и ризосферног супстрата *A. altissima* са депоније пепела ТЕНТ-А нису биле статистички значајне (ns). У контролном супстрату и ризосферном супстрату *A. altissima* са депоније пепела ТЕНТ-А није детектована *n*-кумаринска киселина (ND). У контролном супстрату са кречњачког станишта Крш – Велики Шењ нису детектована испитивана фенолна једињења, док је у ризосферном супстрату *A. altissima* детектована 3,5-ДНВА и ферулинска киселина.

**Табела 40.** Садржај фенолних једињења ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) у контролном и ризосферном супстрату *A. altissima* на различитим стаништима

Параметар	Контролни супстрат		Ризосферни супстрат	
	М (SD)	Мин.-Макс.	М (SD)	Мин.-Макс.
<b>Делиблатска пешчара</b>				
<b>3,5- ДНВА</b>	0.366 (0.002)	0.363-0.371	0.554 (0.118) ***	0.429-0.711
<b>3-НВА</b>	0.722 (0.018) ns	0.684-0.754	0.660 (0.108)	0.514-0.788
<b>Ферулинска киселина</b>	1.457 (0.045) ns	1.353-1.515	1.731 (0.749)	0.876-2.806
<b><i>n</i>-Кумаринска киселина</b>	5.465 (0.098)	5.274-5.665	-	-
<b>Рутин</b>	0.183 (0.003)	0.177-0.190	0.424 (0.241) **	0.132-0.735
<b>Депонија пепела (ТЕНТ-А)</b>				
<b>3,5- ДНВА</b>	0.570 (0.0437) ***	0.487-0.661	0.151 (0.040)	0.099-0.215
<b>3-НВА</b>	0.190 (0.013)	0.175-0.224	ND	-
<b>Ферулинска киселина</b>	0.670 (0.014) ns	0.640-0.698	0.650 (0.117)	0.467-0.882
<b><i>n</i>-Кумаринска киселина</b>	ND	-	ND	-
<b>Рутин</b>	0.090 (0.006) ns	0.08-0.11	0.172 (0.132)	0.068-0.424
<b>Кречњачко станиште (Крш – Велики Шењ)</b>				
<b>3,5- ДНВА</b>	ND	-	0.090 (0.0071)	0.080-0.100
<b>3-НВА</b>	ND	-	ND	-
<b>Ферулинска киселина</b>	ND	-	0.090 (0.0050)	0.080-0.100
<b><i>n</i>-Кумаринска киселина</b>	ND	-	ND	-
<b>Рутин</b>	ND	-	ND	-

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA) и Шефев тест (Scheffé's post-hoc test); резултати су представљени као М (SD),  $n=15$ ; Мин. – минималне вредности, Макс. – максималне вредности; \*\*  $p<0.01$ , \*\*\*  $p<0.001$ , ns – нема статистички значајних разлика, ND – није детектовано

Резултати упоредне анализе садржаја фенолних киселина и флавоноида у супстрату *A. altissima* на различитим стаништима приказани су у Табели 41. Ризосферни супстрат *A. altissima* из Делиблатске пешчаре имао је статистички значајно веће вредности 3,5-ДНВА, ферулинске киселине ( $p<0.001$ ), као и рутина ( $p<0.01$ ) у односу на ризосферни супстрат ове врсте са депоније пепела ТЕНТ-А. Такође, садржај 3,5-ДНВА и ферулинске киселине био је статистички значајно већи него у ризосферном супстрату са кречњачког станишта Крш – Велики Шењ ( $p<0.001$ ). Такође, 3-НВА је детектована само у ризосферном супстрату из Делиблатске пешчаре.

**Табела 41.** Упоредна анализа садржаја фенолних једињења ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) у контролном и ризосферном супстрату *A. altissima* на различитим стаништима

Параметар	Контролни супстрат		
	Делиблатска пешчара	Депонија пепела (ТЕНТ-А)	Кречњачко станиште (Крш – Велики Шењ)
3,5-ДНВА	-	a <sup>***</sup>	ND
3-НВА	a <sup>***</sup>	-	ND
Ферулинска киселина	a <sup>***</sup>	-	ND
<i>n</i> -Кумаринска киселина	a <sup>***</sup>	ND	ND
Рутин	a <sup>ns</sup>	-	ND
Ризосферни супстрат			
3,5- ДНВА	a <sup>***</sup> b <sup>***</sup>	c <sup>ns</sup>	-
3-НВА	a <sup>***</sup> b <sup>***</sup>	ND	ND
Ферулинска киселина	-	c <sup>*</sup>	-
<i>n</i> -Кумаринска киселина	ND	ND	ND
Рутин	a <sup>**</sup>	-	ND

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA) и Шефев тест (Scheffé's post-hoc test); (a) Делиблатска пешчара – ТЕНТ-А; (b) Делиблатска пешчара – Крш–Велики Шењ; (c) ТЕНТ-А–Крш Велики Шењ; \*  $p < 0.05$ , \*\*\*  $p < 0.001$ ; ns – нема статистички значајних разлика, ND – није детектовано

### 5.4.3. Садржај фенолних једињења у супстрату *Amorpha fruticosa* на различитим стаништима

Двофакторска анализа варијансе показала је да је на варијабилност садржаја 3,5-ДНВА, 3-НВА, ферулинске, *n*-кумаринске у супстрату *A. fruticosa* већи утицај имало станиште у односу на тип супстрата ( $p < 0.001$ ), док је на варијабилност садржаја рутина већи утицај имао тип супстрата ( $p < 0.01$ ). Утицај типа супстрата на садржај ферулинске киселине није био статистички значајан (ns) (Табела 42).

**Табела 42.** Утицај станишта и типа супстрата на варијабилност садржаја фенолних једињења у супстрату *A. fruticosa*

Параметар	Станиште		Тип супстрата		Станиште * Тип супстрата	
	F	p	F	p	F	p
3,5-ДНВА	48.977	***	6.284	*	35.125	***
3-НВА	1697.606	***	112.745	***	330.476	***
Ферулинска киселина	56.133	***	0.290	ns	1.686	ns
<i>n</i> -Кумаринска киселина	3894.281	***	1490.323	***	1490.323	***
Рутин	5.964	**	8.914	**	5.229	**

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA), \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$ , ns – нема статистичке значајности

Концентрације фенолних једињења у контролном и ризосферном супстрату *A. fruticosa* на различитим стаништима приказане су у Табели 43. Статистички значајно веће вредности 3-НВА и *n*-кумаринске киселине имао је контролни супстрат из Делиблатске пешчаре у односу на ризосферни супстрат *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре ( $p < 0.001$ ). Разлике у концентрацији 3,5-ДНВА, ферулинске киселине и рутина код контролног и ризосферног супстрата *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре нису биле статистички значајне (ns).

**Табела 43.** Садржај фенолних једињења ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) у контролном и ризосферном супстрату *A. fruticosa* на различитим стаништима

Параметар	Контролни супстрат		Ризосферни супстрат	
	М (SD)	Мин.-Макс.	М (SD)	Мин.-Макс.
<b>Делиблатска пешчара</b>				
<b>3,5- ДНВА</b>	0.366 (0.0020) ns	0.363-0.371	0.546 (0.267)	0.206-0.820
<b>3-НВА</b>	0.722 (0.0178) ***	0.684-0.754	0.370 (0.006)	0.356-0.377
<b>Ферулинска киселина</b>	1.457 (0.0451) ns	1.353-1.515	1.846 (1.160)	0.816-3.419
<b><i>n</i>-Кумаринска киселина</b>	5.465 (0.0978) ***	5.274-5.665	1.288 (0.310)	0.892-1.656
<b>Рутин</b>	0.183 (0.0034) ns	0.177-0.190	0.271 (0.125)	0.101-0.389
<b>Депонија пепела (ГЕНТ-А)</b>				
<b>3,5- ДНВА</b>	0.570 (0.0437) ***	0.487-0.661	0.146 (0.043)	0.105-0.224
<b>3-НВА</b>	0.190 (0.013)	0.175-0.224	0.302 (0.065) ***	0.195-0.386
<b>Ферулинска киселина</b>	0.670 (0.014) ns	0.640-0.698	0.490 (0.059)	0.439-0.640
<b><i>n</i>-Кумаринска киселина</b>	ND	ND	ND	ND
<b>Рутин</b>	0.090 (0.006)	0.08-0.11	1.056 (1.138) **	0.250-2.696
<b>Алувијални нанос Велике Мораве (Багрдан)</b>				
<b>3,5- ДНВА</b>	0.090 (0.005) ns	0.080-0.100	0.107 (0.016)	0.090-0.140
<b>3-НВА</b>	ND	-	ND	-
<b>Ферулинска киселина</b>	ND	-	ND	-
<b><i>n</i>-Кумаринска киселина</b>	ND	-	ND	-
<b>Рутин</b>	ND	-	0.090 (0.005)	0.080-0.100

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA) и Шефев тест (Scheffé's post-hoc test); резултати су представљени као М (SD), n=15; \* p<0.05, \*\* p<0.01, \*\*\* p<0.001, ns – нема статистичке значајности, ND – није детектовано

Статистички значајно веће вредности 3,5-ДНВА имао је контролни супстрат у односу на ризосферни супстрат *A. fruticosa* са депоније пепела ГЕНТ-А. Статистички значајно веће концентрације 3-НВА и рутина имао је ризосферни супстрат *A. fruticosa* у односу на контролни супстрат са депоније пепела ГЕНТ-А (p<0.001; p<0.01). Садржај 3,5-ДНВА био је статистички значајно већи у контролном супстрату у односу на ризосферни супстрат *A. fruticosa* (p<0.001). Разлике у садржају ферулинске киселине нису биле статистички значајне (ns). У контролном и ризосферном супстрату *A. fruticosa* са депоније пепела ГЕНТ-А није детектована *n*-кумаринска киселина (ND).

Разлика у садржају 3,5-ДНВА између контролног супстрата са алувијалног наноса Велике Мораве (Багрдан) и ризосферног супстрата *A. fruticosa* није била статистички значајна (ns). Рутин је детектован само у ризосферном супстрату, док 3-НВА, ферулинска киселина и *n*-кумаринска киселина нису биле детектоване код

контролног и ризосферног супстрата *A. fruticosa* са алувијалног наноса Велике Мораве (ND).

Резултати упоредне анализе садржаја фенолних једињења у контролном и ризосферном супстрату *A. fruticosa* на различитим стаништима приказани су у Табели 44. Концентрација 3,5-DHBA у контролном супстрату из Делиблатске пешчаре и са депоније пепела ТЕНТ-А била је већа него у контролном супстрату са алувијалног наноса Велике Мораве (Багрдан) ( $p < 0.001$ ). Садржај 3,5-DHBA, 3-НВА и ферулинске киселине био је статистички значајно већи у ризосферном супстрату *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре у односу на ризосферни супстрат ове врсте са депоније пепела ТЕНТ-А ( $p < 0.001$ ). Такође, значајно веће вредности 3,5-DHBA имао је ризосферни супстрат из Делиблатске пешчаре у односу алувијални нанос Велике Мораве ( $p < 0.001$ ). Разлике у садржају 3,5-DHBA између ризосферног супстрата са депоније пепела ТЕНТ-А и алувијалног наноса нису биле статистички значајне (ns). Такође, нису утврђене статистички значајне разлике у погледу садржаја рутина у ризосферном супстрату испитиваних станишта (ns).

**Табела 44.** Упоредна анализа садржаја фенолних једињења ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) у супстрату *A. fruticosa* на различитим стаништима

Параметар	Контролни супстрат		
	Делиблатска пешчара	Депонија пепела (ТЕНТ-А)	Алувијални нанос Велике Мораве (Багрдан)
3,5-DHBA	b <sup>***</sup>	a <sup>***</sup> c <sup>***</sup>	-
3-НВА	a <sup>***</sup>	-	ND
Ферулинска киселина	a <sup>***</sup>	-	ND
<i>n</i> -Кумаринска киселина	a <sup>***</sup>	ND	ND
Рутин	a <sup>ns</sup>	-	ND
	Ризосферни супстрат		
	Делиблатска пешчара	Депонија пепела (ТЕНТ-А)	Алувијални нанос Велике Мораве (Багрдан)
3,5-DHBA	a <sup>***</sup> b <sup>***</sup>	c <sup>ns</sup>	/
3-НВА	a <sup>***</sup>	-	ND
Ферулинска киселина	a <sup>***</sup>	-	ND
<i>n</i> -Кумаринска киселина	a <sup>***</sup>	ND	ND
Рутин	a <sup>ns</sup> b <sup>ns</sup>	c <sup>ns</sup>	-

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA) и Шефев тест (Scheffé's post-hoc test); Делиблатска пешчара – ТЕНТ-А; (b) Делиблатска пешчара – Велика Морава (Багрдан); (c) ТЕНТ-А – Велика Морава (Багрдан); \*\*\*  $p < 0.001$ ; ns – нема значајних разлика, ND – није детектовано

#### 5.4.4. Садржај фенолних једињења у супстрату – упоредна анализа испитиваних биљних врста

Резултати двофакторске анализе варијансе (factorial ANOVA) приказани су у Табели 45. Станиште је имало статистички значајан утицај на садржај *n*-кумаринске киселине и 3-НВА ( $p < 0.001$ ), док је утицај станишта на 3,5-DHBA, ферулинску киселину и рутин био без статистичке значајности (ns). Утицај врсте биљке био је најизраженији у погледу садржаја ферулинске киселине ( $p < 0.001$ ). Утицај врсте биљке на садржај 3,5-DHBA, 3-НВА и рутина није био статистички значајан.

**Табела 45.** Утицај станишта и врсте биљке на варијабилност садржаја хемијских елемената у ризосферном супстрату испитиваних биљних врста

Параметар	Станиште		Врста биљке		Станиште * Врста биљке	
	F	p	F	p	F	p
3,5-DHBA	0.19	ns	2.65	ns	<b>5.53</b>	**
3-НВА	<b>45.38</b>	***	0.21	ns	8.99	***
<i>n</i> -Кумаринска киселина	<b>1542.79</b>	***	560.44	**	560.44	***
Ферулинска киселина	0.05	ns	<b>37.06</b>	***	4.33	**
Рутин	2.77	ns	2.75	ns	1.96	ns

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA), \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$ , ns – нема статистички значајних разлика

Резултати упоредне анализе садржаја фенолних једињења у ризосферном супстрату испитиваних врста биљака на различитим стаништима приказани су у Табели 46. Ризосферни супстрат *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре имао је статистички значајно веће вредности *n*-кумаринске киселине у односу на ризосферни супстрат *A. fruticosa* ( $p < 0.001$ ). Ово једињење није детектовано у ризосферном супстрату *A. altissima* из Делиблатске пешчаре (ND). Разлике у садржају 3,5-DHBA, 3-НВА, ферулинске киселине и рутина, у ризосферном супстрату испитиваних врста из Делиблатске пешчаре, нису биле статистички значајне (ns).

**Табела 46.** Упоредна анализа садржаја фенолних једињења у ризосферном супстрату испитиваних врста биљака на различитим стаништима

Параметар	Врста биљке			Станиште
	<i>R. pseudoacacia</i>	<i>A. altissima</i>	<i>A. fruticosa</i>	
3,5-DHBA	a <sup>ns</sup> b <sup>ns</sup>	c <sup>ns</sup>	-	Делиблатска пешчара
3-НВА	a <sup>ns</sup> b <sup>ns</sup>	c <sup>ns</sup>	-	
Ферулинска киселина	a <sup>ns</sup> b <sup>ns</sup>	c <sup>ns</sup>	-	
<i>n</i> -Кумаринска киселина	b <sup>***</sup>	ND	-	
Рутин	a <sup>ns</sup> b <sup>ns</sup>	c <sup>ns</sup>	-	
	<i>R. pseudoacacia</i>	<i>A. altissima</i>	<i>A. fruticosa</i>	Депонија пепела (ТЕНТ-А)
3,5-DHBA	a <sup>ns</sup> b <sup>ns</sup>	c <sup>ns</sup>	-	
3-НВА	b <sup>ns</sup>	ND	-	
Ферулинска киселина	a <sup>**</sup> b <sup>**</sup>	c <sup>ns</sup>	-	
<i>n</i> -Кумаринска киселина	ND	ND	ND	
Рутин	a <sup>ns</sup> b <sup>ns</sup>	c <sup>ns</sup>	-	

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA) и Шефев тест (Scheffé's post-hoc test); (a) *R. pseudoacacia* – *A. altissima*; (b) *R. pseudoacacia* – *A. fruticosa*; (c) *A. altissima* – *A. fruticosa*; \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$ ; ns – нема статистички значајних разлика, ND – није детектовано

Ризосферни супстрат *R. pseudoacacia* са депоније пепела ТЕНТ-А имао је статистички значајно веће концентрације ферулинске киселине у односу на *A. altissima* и *A. fruticosa* ( $p < 0.01$ ). Разлике у садржају 3-НВА, 3,5-DHBA, *n*-кумаринске киселине и рутина у ризосферном супстрату испитиваних врста са депоније пепела ТЕНТ-А нису биле статистички значајне (ns). Такође, у ризосферном супстрату *R. pseudoacacia*, *A. altissima* и *A. fruticosa* са депоније пепела ТЕНТ-А није детектована *n*-кумаринска киселина (ND) (Табела 35).

## 5.5. Садржај фенолних једињења у листовима и стељи испитиваних врста биљака на различитим стаништима

### 5.5.1. Садржај фенолних једињења у листовима и стељи *Robinia pseudoacacia* на различитим стаништима

Резултати двофакторске анализе варијансе (factorial ANOVA) указују да је на варијабилност ферулинске киселине, *n*-кумаринске киселине и 3,5-DHBA већи утицај имао тип биљног материјала (лист/стеља) ( $p < 0.001$ ;  $p < 0.001$ ;  $p < 0.01$ ), док је на садржај 3-НВА већи утицај имао фактор станиште ( $p < 0.01$ ). Утицај станишта на садржај *n*-кумаринске киселине, као и утицај типа биљног материјала на садржај 3-НВА није био статистички значајан (ns) (Табела 47).

Табела 47. Утицај станишта и типа биљног материјала (лист/стеља) на варијабилност садржаја фенолних једињења код *R. pseudoacacia*

Параметар	Станиште		Тип биљног материјала		Станиште *	
	F	p	F	p	F	p
3,5-DHBA	4.904	*	10.230	**	2.528	ns
3-НВА	5.868	**	3.459	ns	5.729	*
Ферулинска киселина	95.921	***	172.648	***	79.110	***
<i>n</i> -Кумаринска киселина	1.598	ns	39.937	***	1.593	ns
Рутин	4.109	*	61.244	***	4.957	*

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA), \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$ , ns – нема статистичке значајности

Листови *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре имали су статистички значајно веће вредности ферулинске киселине и рутина ( $p < 0.001$ ), као и 3,5-DHBA и *n*-кумаринске киселине ( $p < 0.01$ ) у односу на стељу. Концентрација 3-НВА била је статистички значајно већа у стељи него у листовима *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре ( $p < 0.05$ ). Листови *R. pseudoacacia* са депоније пепела ТЕНТ-А имали су статистички значајно веће вредности *n*-кумаринске и ферулинске киселине, као и рутина у односу на стељу ( $p < 0.001$ ), док су разлике у садржају 3,5-DHBA и 3-НВА биле без статистичке значајности (ns). Статистички значајно веће вредности ферулинске киселине и рутина ( $p < 0.001$ ), *n*-кумаринске киселине ( $p < 0.01$ ) и 3,5-DHBA ( $p < 0.05$ ) имали су листови *R. pseudoacacia* у односу на стељу са јаловишта азбеста Страгари. Међутим, стеља *R. pseudoacacia* имала је статистички значајно веће вредности 3-НВА у односу на листове *R. pseudoacacia* са јаловишта азбеста Страгари ( $p < 0.01$ ) (Табела 48).

**Табела 48.** Садржај фенолних једињења ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) у листовима и стељи *R. pseudoacacia* на различитим стаништима

Параметар	Листови		Стеља	
	М (SD)	Мин.-Макс.	М (SD)	Мин.-Макс.
<b>Делиблатска пешчара</b>				
<b>3,5-ДНВА</b>	2.14 (0.869) **	1.43 - 3.27	0.77 (0.018)	<b>0.76 – 0.79</b>
<b>3-НВА</b>	17.66 (4.604)	10.76 – 23.06	25.67 (0.537) *	25.20 – 26.25
<b>Ферулинска киселина</b>	33.82 (9.175) ***	26.01 – 47.82	2.62 (0.151)	2.50 – 2.79
<b><i>n</i>-Кумаринска киселина</b>	13.08 (3.625) **	6.73 – 17.42	4.50 (2.581)	2.69 – 7.46
<b>Рутин</b>	24.69 (10.206) ***	17.00 – 41.36	2.17 (0.160)	1.99 – 2.30
<b>Депонија пепела (ТЕНТ-А)</b>				
<b>3,5-ДНВА</b>	0.85 (0.533) ns	0.31 – 1.40	0.81 (0.047)	0.76 – 0.85
<b>3-НВА</b>	36.90 (11.947) ns	24.34 – 51.32	29.26 (1.850)	27.20 – 30.79
<b>Ферулинска киселина</b>	66.90 (8.692) ***	54.86 – 76.81	2.65 (0.038)	2.61 – 2.69
<b><i>n</i>-Кумаринска киселина</b>	66.96 (6.964) ***	56.23 – 74.43	7.96 (0.170)	7.77 – 8.09
<b>Рутин</b>	18.54 (7.933) ***	10.86 – 26.75	4.00 (0.277)	3.70 – 4.23
<b>Јаловиште азбеста (Страгари)</b>				
<b>3,5-ДНВА</b>	2.28 (0.735) *	1.43 – 2.96	1.27 (0.073)	1.19 – 1.34
<b>3-НВА</b>	16.51 (6.273)	9.92 – 23.75	32.04 (0.274) **	31.72 – 32.21
<b>Ферулинска киселина</b>	50.27 (35.783) ***	16.63 – 84.65	2.40 (0.070)	2.33 – 2.47
<b><i>n</i>-Кумаринска киселина</b>	13.94 (5.162) **	9.16 – 19.92	6.31 (1.365)	4.91 – 7.64
<b>Рутин</b>	41.56 (9.885) ***	32.18 – 51.17	2.51 (0.033)	2.49 – 2.55

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA) и Шефев тест (Scheffé's post-hoc test); резултати су представљени као М (SD),  $n=15$ ; Мин. – минималне вредности, Макс. – максималне вредности; \*  $p<0.05$ , \*\*  $p<0.05$ \*\*\*,  $p<0.001$ , ns – нема статистички значајних разлика

Резултати упоредне анализе садржаја фенолних једињења у листовима и стељи *R. pseudoacacia* на различитим стаништима, приказани су у Табели 49. Статистички значајно веће вредности *n*-кумаринске киселине имали су листови *R. pseudoacacia* са депоније пепела ТЕНТ-А у односу на Делиблатску пешчару и јаловиште азбеста у Страгарима ( $p<0.01$ ). Разлике у садржају ове киселине код листова *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре и јаловишта азбеста Страгари, као и депоније пепела ТЕНТ-А и јаловишта азбеста Страгари нису биле статистички значајне (ns). Статистички значајно веће вредности 3-НВА имали су листови *R. pseudoacacia* са депоније пепела ТЕНТ-А у односу на Делиблатску пешчару и јаловиште азбеста у Страгарима ( $p<0.001$ ), док су разлике између Делиблатске пешчаре и јаловишта азбеста Страгари биле без статистичке значајности (ns). Листови *R. pseudoacacia* са јаловишта азбеста Страгари и из Делиблатске пешчаре имали су статистички значајно веће вредности 3,5-ДНВА у односу на депонију пепела ТЕНТ-А ( $p<0.01$ ), док су разлике између Делиблатске пешчаре и јаловишта азбеста Страгари биле без статистичке значајности (ns).



Табела 49. Упоредна анализа садржаја фенолних једињења ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) у листовима и стељи *R. pseudoacacia* на различитим стаништима

Параметар	Лист		
	Делиблатска пешчара	Депонија пепела (ТЕНТ-А)	Јаловиште азбеста (Страгари)
3,5-ДНВА	a <sup>**</sup> b <sup>ns</sup>	-	c <sup>**</sup>
3-НВА	b <sup>ns</sup>	a <sup>***</sup> c <sup>***</sup>	-
Ферулинска киселина	b <sup>ns</sup>	a <sup>***</sup> c <sup>***</sup>	-
<i>n</i> -Кумаринска киселина	b <sup>ns</sup>	a <sup>**</sup> c <sup>ns</sup>	-
Рутин	a <sup>ns</sup>	-	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>
	Стеља		
	Делиблатска пешчара	Депонија пепела (ТЕНТ-А)	Јаловиште азбеста (Страгари)
3,5-ДНВА	a <sup>ns</sup> b <sup>ns</sup>	c <sup>ns</sup>	-
3-НВА	a <sup>ns</sup> b <sup>ns</sup>	c <sup>ns</sup>	-
Ферулинска киселина	a <sup>ns</sup> b <sup>ns</sup>	c <sup>ns</sup>	-
<i>n</i> -Кумаринска киселина	a <sup>ns</sup> b <sup>ns</sup>	c <sup>ns</sup>	-
Рутин	a <sup>ns</sup> b <sup>ns</sup>	c <sup>ns</sup>	-

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA) и Шефеов тест (Scheffé's post-hoc test); (a) Делиблатска пешчара – ТЕНТ-А; (b) Делиблатска пешчара – Страгари; (c) ТЕНТ-А – Страгари; \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$ ; ns – нема статистички значајних разлика

Концентрација ферулинске киселине била је статистички значајно већа у листовима *R. pseudoacacia* са депоније пепела у односу на Делиблатску пешчару и јаловиште азбеста ( $p < 0.001$ ). Разлике у садржају ферулинске киселине у листовима *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре и јаловишта азбеста у Страгарима нису биле статистички значајне (ns). Листови *R. pseudoacacia* са јаловишта азбеста Страгари имали су статистички значајно веће вредности рутина у односу на Делиблатску пешчару и депонију пепела ТЕНТ-А ( $p < 0.001$ ), док су разлике у садржају рутина у листовима *R. pseudoacacia* између Делиблатске пешчаре и јаловишта азбеста Страгари биле без статистичке значајности (ns). Разлике у садржају испитиваних фенолних једињења у стељи *R. pseudoacacia* на различитим стаништима нису биле статистички значајне (ns).

### 5.5.2. Садржај фенолних једињења у листовима и стељи *Ailanthus altissima* на различитим стаништима

Двофакторска анализа варијансе (factorial ANOVA) показала је да је на садржај 3,5-DHBA, 3-НВА, *n*-кумаринске киселине и рутина већи утицај имао тип биљног материјала (лист/стеља) ( $p < 0.01$ ;  $p < 0.001$ ;  $p < 0.01$ ;  $p < 0.001$ ). Садржај ферулинске киселине био је под већим утицајем фактора станиште ( $p < 0.001$ ) (Табела 50).

**Табела 50.** Утицај станишта и типа биљног материјала (лист/стеља) на варијабилност садржаја фенолних једињења код *A. altissima*

Параметар	Станиште		Тип биљног материјала		Станиште *	
	F	p	F	p	F	p
3,5-DHBA	4.732	*	11.749	**	3.410	ns
3-НВА	67.591	***	97.815	***	38.036	***
Ферулинска киселина	31.146	***	25.389	***	3.512	*
<i>n</i> -Кумаринска киселина	8.264	**	11.939	**	6.109	**
Рутин	3.876	*	19.086	***	0.769	ns

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA) и Шефев тест (Scheffé's post-hoc test), \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$ , ns – нема статистичке значајности

Статистички значајно веће вредности *n*-кумаринске киселине, 3,5-DHBA и рутина забележене су у листовима *A. altissima* у односу на стељу ове врсте из Делиблатске пешчаре ( $p < 0.001$ ,  $p < 0.05$ ,  $p < 0.01$ ). Такође, за исто станиште је утврђена статистички значајно већа концентрација рутина у листовима у односу на стељу *A. altissima* ( $p < 0.001$ ). Садржај 3-НВА и ферулинске киселине био је статистички значајно већи у стељи *A. altissima* у односу на листове из Делиблатске пешчаре ( $p < 0.01$ ,  $p < 0.05$ ). Листови *A. altissima* са депоније пепела ТЕНТ-А имали су статистички значајно веће вредности 3,5-DHBA и рутина у односу на стељу ( $p < 0.001$ ,  $p < 0.05$ ), док је садржај ферулинске киселине био већи у стељи ( $p < 0.01$ ). Разлике у садржају *n*-кумаринске киселине и 3-НВА у листовима и стељи *A. altissima* са депоније пепела ТЕНТ-А нису биле статистички значајне (ns). На кречњачком станишту Крш – Велики Шењ, стеља *A. altissima* је имала статистички значајно веће вредности 3-НВА у односу на листове ( $p < 0.001$ ), док је садржај рутина био статистички значајно већи у листовима у односу на стељу ( $p < 0.05$ ). Разлике у садржају *n*-кумаринске киселине, 3,5-DHBA и ферулинске киселине код листова и стеље *A. altissima* на кречњачком станишту Крш – Велики Шењ нису биле статистички значајне (ns) (Табела 51).

Табела 51. Садржај фенолних једињења ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) у листовима и стељи *A. altissima* на различитим стаништима

Параметар	Листови		Стеља	
	М (SD)	Мин.-Макс.	М (SD)	Мин.-Макс.
<b>Делиблатска пешчара</b>				
<b>3,5-ДНВА</b>	22.86 (8.290) ***	15.07 – 31.18	7.40 (0.490)	7.06 – 7.96
<b>3-НВА</b>	13.04 (0.427)	12.57 – 13.70	19.49 (0.472) *	19.17 – 20.04
<b>Ферулинска киселина</b>	8.59 (3.076) ***	5.69 – 12.27	2.54 (0.223)	2.29 – 2.72
<b><i>n</i>-Кумаринска киселина</b>	9.13 (1.669)	7.39 – 11.53	18.05 (1.800) ***	16.17 – 19.76
<b>Рутин</b>	58.67 (6.577) ***	52.16 – 65.27	12.54 (0.659)	11.79 – 12.97
<b>Депонија пепела (ТЕНТ-А)</b>				
<b>3,5-ДНВА</b>	34.78 (21.771) ***	13.79 – 57.52	3.64 (0.702)	2.85 – 4.20
<b>3-НВА</b>	30.62 (5.033) ns	24.82 – 36.68	32.66 (1.135)	31.49 – 33.76
<b>Ферулинска киселина</b>	5.61 (2.011) ns	3.44 – 8.00	3.41 (0.417)	2.97 – 3.79
<b><i>n</i>-Кумаринска киселина</b>	12.68 (4.578)	8.94 – 18.83	18.12 (2.054) **	16.38 – 20.39
<b>Рутин</b>	72.03 (37.738) **	33.23 – 108.58	37.08 (6.882)	31.29 – 44.69
<b>Кречњачко станиште (Крш – Велики Шењ)</b>				
<b>3,5-ДНВА</b>	3.04 (2.153) ns	1.00 – 5.16	1.71 (0.087)	1.65 – 1.81
<b>3-НВА</b>	8.63 (2.017)	6.60 – 11.21	33.03 (1.407) ***	31.93 – 34.61
<b>Ферулинска киселина</b>	1.71 (0.907) ns	0.82 – 2.60	2.10 (0.208)	1.96 – 2.34
<b><i>n</i>-Кумаринска киселина</b>	4.65 (1.481) ns	2.64 – 6.23	6.57 (0.907)	5.91 – 7.61
<b>Рутин</b>	39.68 (8.830) *	31.58 – 48.73	17.49 (0.167)	17.30 – 17.63

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA) и Шефев тест (Scheffé's post-hoc test); резултати су представљени као М (SD), n=15; Мин. – минималне вредности, Макс. – максималне вредности; \* p<0.05, \*\* p<0.05\*\*\*, p<0.001, ns – нема статистички значајних разлика.

Резултати упоредне анализе садржаја фенолних једињења у листовима и стељи *A. altissima* на различитим стаништима приказани су у Табели 52. Статистички значајно веће вредности *n*-кумаринске киселине имали су листови *A. altissima* из Делиблатске пешчаре у односу на депонију пепела и кречњачко станиште (p<0.05, p<0.001), као и са депоније у односу на кречњачко станиште (p<0.01). Садржај 3-НВА био је статистички значајно већи у листовима *A. altissima* са депоније пепела у односу на Делиблатску пешчару и кречњачко станиште (p<0.001). Такође, садржај 3-НВА био је статистички значајно већи у листовима из Делиблатске пешчаре у односу на кречњачко станиште (p<0.05). Листови *A. altissima* са депоније пепела ТЕНТ-А и из Делиблатске пешчаре имали су статистички значајно веће вредности 3,5-ДНВА у односу на кречњачко станиште Крш – Велики Шењ (p<0.001, p<0.01). Садржај ферулинске киселине у листовима *A. altissima* са депоније пепела ТЕНТ-А био је статистички значајно већи у односу на кречњачко станиште Крш – Велики Шењ и Делиблатску пешчару (p<0.001,

$p < 0.05$ ). Такође, листови *A. altissima* из Делиблатске пешчаре имали су статистички значајно веће вредности ферулинске киселине у односу на кречњачко станиште Крш – Велики Шењ ( $p < 0.01$ ). Садржај рутина био је статистички значајно већи у листовима *A. altissima* са депоније пепела ТЕНТ-А у односу на кречњачко станиште Крш – Велики Шењ ( $p < 0.01$ ), док су разлике у погледу садржаја рутина између Делиблатске пешчаре и депоније пепела ТЕНТ-А, као и депоније пепела ТЕНТ-А и кречњачког станиште Крш – Велики Шењ биле без статистички значајних разлика (ns).

**Табела 52.** Упоредна анализа садржаја фенолних једињења ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) у листовима и стељи *A. altissima* на различитим стаништима

Параметар	Лист		
	Делиблатска пешчара	Депонија пепела (ТЕНТ-А)	Кречњачко станиште (Крш – Велики Шењ)
3,5-ДНВА	a <sup>ns</sup> b <sup>**</sup>	c <sup>***</sup>	-
3-НВА	b <sup>*</sup>	a <sup>***</sup> c <sup>***</sup>	-
Ферулинска киселина	b <sup>**</sup>	a <sup>*</sup> c <sup>***</sup>	-
<i>n</i> -Кумаринска киселина	a <sup>*</sup> b <sup>***</sup>	c <sup>**</sup>	-
Рутин	a <sup>ns</sup> b <sup>ns</sup>	c <sup>**</sup>	-
	Стеља		
	Делиблатска пешчара	Депонија пепела (ТЕНТ-А)	Кречњачко станиште (Крш – Велики Шењ)
3,5-ДНВА	a <sup>ns</sup> b <sup>ns</sup>	c <sup>ns</sup>	-
3-НВА	-	a <sup>***</sup> c <sup>ns</sup>	b <sup>***</sup>
Ферулинска киселина	a <sup>ns</sup> b <sup>***</sup>	c <sup>***</sup>	-
<i>n</i> -Кумаринска киселина	a <sup>ns</sup> b <sup>ns</sup>	c <sup>ns</sup>	-
Рутин	b <sup>ns</sup>	a <sup>*</sup> c <sup>*</sup>	-

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA) и Шефеов тест (Scheffé's post-hoc test); резултати су представљени као M (SD), n=15; (a) Делиблатска пешчара – ТЕНТ-А; (b) Делиблатска пешчара – Крш-Велики Шењ; (c) ТЕНТ-А – Крш-Велики Шењ; \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$ ; ns – нема статистички значајних разлика

Садржај 3-НВА био је статистички значајно већи у стељи *A. altissima* са кречњачког станишта Крш – Велики Шењ и депоније пепела ТЕНТ-А у односу на Делиблатску пешчару ( $p < 0.001$ ). Садржај ферулинске киселине био је статистички значајно већи у стељи *A. altissima* са депоније пепела ТЕНТ-А и из Делиблатске пешчаре у односу на кречњачко станиште Крш – Велики Шењ ( $p < 0.001$ ). Такође, стеља *A. altissima* са депоније пепела ТЕНТ-А имала је статистички значајно веће вредности рутина у односу на Делиблатску пешчару и кречњачко станиште Крш – Велики Шењ ( $p < 0.05$ ) (Табела 40).

### 5.5.3. Садржај фенолних једињења у листовима и стељи *Amorpha fruticosa* на различитим стаништима

Резултати двофакторске анализе варијансе (factorial ANOVA) указали су да је на садржај 3,5-DHBA, ферулинске киселине, *n*-кумаринске киселине и рутина већи утицај имао тип биљног материјала (лист/стеља) ( $p < 0.001$ ), док је на садржај 3-НВА већи утицај имало станиште ( $p < 0.001$ ) (Табела 53).

**Табела 53.** Утицај станишта и типа биљног материјала (лист/стеља) на варијабилност садржаја фенолних једињења код *A. fruticosa*

Параметар	Станиште		Тип биљног материјала		Станиште *	
	F	p	F	p	F	p
<i>n</i> -Кумаринска киселина	1.588	ns	<b>107.193</b>	***	1.902	ns
<b>3,5-DHBA</b>	38.370	***	<b>137.903</b>	***	48.719	***
<b>3-НВА</b>	<b>100.419</b>	***	37.080	***	232.843	***
Ферулинска киселина	6.191	**	<b>72.606</b>	***	3.000	ns
<b>Рутин</b>	3.157	ns	<b>34.578</b>	***	0.290	ns

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA), \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$ , ns – без статистичке значајности

Статистички значајно веће вредности *n*-кумаринске и ферулинске киселине, као и рутина имали су листови *A. fruticosa* у односу на стељу из Делиблатске пешчаре ( $p < 0.001$ ,  $p < 0.001$ ,  $p < 0.01$ ). Садржај 3-НВА био је статистички значајно већи у стељи у односу на листове *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре ( $p < 0.001$ ). Разлике у концентрацији 3,5-DHBA нису биле статистички значајне (ns). Листови *A. fruticosa* са депоније пепела ТЕНТ-А имали су статистички значајно веће вредности *n*-кумаринске киселине, 3-НВА, 3,5-DHBA, ферулинске киселине ( $p < 0.001$ ) и рутина ( $p < 0.05$ ) у односу на стељу са депоније пепела ТЕНТ-А. Статистички значајно веће вредности *n*-кумаринске киселине ( $p < 0.001$ ), 3,5-DHBA ( $p < 0.01$ ), ферулинске киселине ( $p < 0.01$ ) и рутина ( $p < 0.01$ ) имали су листови *A. fruticosa* у односу на стељу са алувијалног наноса Велике Мораве (Багрдан). Разлике у садржају 3-НВА нису биле статистички значајне (ns) (Табела 54).

Табела 54. Садржај фенолних једињења ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) у листовима и стељи *A. fruticosa* на различитим стаништима

Параметар	Листови		Стеља	
	М (SD)	Мин.-Макс.	М (SD)	Мин.-Макс.
<b>Делиблатска пешчара</b>				
3,5-DHBA	7.55 (1.786) ns	5.99 – 10.51	5.83 (0.161)	5.64 – 5.94
3-НВА	24.88 (3.076)	21.27 – 28.82	88.90 (1.108) **	88.14 – 90.17
Ферулинска киселина	36.51 (9.889) ***	26.70 – 47.66	6.91 (0.792)	6.25 – 7.79
<i>n</i> -Кумаринска киселина	73.18 (17.576) ***	54.14 – 93.29	22.83 (0.241)	22.55 – 22.97
Рутин	305.67 (62.861) **	245.39 – 366.59	136.93 (6.232)	130.26 – 142.61
<b>Депонија пепела (ТЕНТ-А)</b>				
3,5-DHBA	18.62 (2.350) ***	15.38 – 20.93	2.65 (0.107)	2.55 – 2.76
3-НВА	47.23 (5.246) ***	38.91 – 53.37	14.89 (0.677)	14.19 – 15.54
Ферулинска киселина	35.43 (9.082) ***	24.43 – 45.11	14.20 (2.190)	12.49 – 16.67
<i>n</i> -Кумаринска киселина	44.14 (17.081) ***	27.41 – 65.02	19.21 (1.657)	17.55 – 20.87
Рутин	291.08 (157.300) *	122.70 – 482.27	62.45 (2.166)	60.39 – 64.71
<b>Алувијални нанос Велике Мораве (Багрдан)</b>				
3,5-DHBA	6.14 (1.065) **	5.12 – 7.72	1.76 (0.273)	1.51 – 2.05
3-НВА	26.49 (6.232) ns	20.01 – 32.56	28.56 (4.878)	24.45 – 33.95
Ферулинска киселина	35.90 (2.446) ***	32.95 – 38.67	1.80 (0.236)	1.55 – 2.03
<i>n</i> -Кумаринска киселина	53.45 (3.198) **	49.99 – 58.34	2.69 (1.326)	1.49 – 4.11
Рутин	224.68 (48.182) **	179.06 – 273.03	2.99 (0.191)	2.77 – 3.13

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA) и Шефев тест (Scheffé's post-hoc test); резултати су представљени као М (SD), n=15; Мин. – минималне вредности, Макс. – максималне вредности; \* p<0.05, \*\* p<0.05\*\*\*, p<0.001, ns – нема статистички значајних разлика

Резултати упоредне анализе садржаја фенолних једињења у листовима и стељи *A. fruticosa* са различитих станишта приказани су у Табели 55. Статистички значајно веће вредности 3-НВА и 3,5-DHBA су забележене у листовима *A. fruticosa* са депоније пепела ТЕНТ-А у односу на Делиблатску пешчару и алувијални нанос Велике Мораве (Багрдан) (p<0.001). Листови *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре имали су статистички значајно веће концентрације ферулинске киселине у односу на ТЕНТ-А и алувијални нанос Велике Мораве (Багрдан) (p<0.001, p<0.05). Разлике у садржају *n*-кумаринске киселине и рутина у листовима *A. fruticosa* између испитиваних станишта нису биле статистички значајне (ns).

**Табела 55.** Упоредна анализа садржаја фенолних једињења ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) у листовима и стељи *A. fruticosa* на различитим стаништима

Параметар	Лист		
	Делиблатска пешчара	Депонија пепела (ТЕНТ-А)	Алувијални нанос Велике Мораве (Багрдан)
3,5-DHBA	b <sup>ns</sup>	a <sup>***</sup> c <sup>***</sup>	-
3-НВА	b <sup>ns</sup>	a <sup>***</sup> c <sup>***</sup>	-
Ферулинска киселина	a <sup>***</sup> b <sup>*</sup>	c <sup>ns</sup>	-
<i>n</i> -Кумаринска киселина	a <sup>ns</sup> b <sup>ns</sup>	c <sup>ns</sup>	-
Рутин	a <sup>ns</sup> b <sup>ns</sup>	c <sup>ns</sup>	-
Параметар	Стеља		
	Делиблатска пешчара	Депонија пепела (ТЕНТ-А)	Алувијални нанос Велике Мораве (Багрдан)
3,5-DHBA	a <sup>*</sup> b <sup>***</sup>	c <sup>ns</sup>	-
3-НВА	a <sup>***</sup> b <sup>***</sup>	-	c <sup>**</sup>
Ферулинска киселина	a <sup>ns</sup> b <sup>***</sup>	c <sup>***</sup>	-
<i>n</i> -Кумаринска киселина	a <sup>ns</sup> b <sup>ns</sup>	c <sup>*</sup>	-
Рутин	a <sup>***</sup> b <sup>***</sup>	c <sup>***</sup>	-

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA) и Шефеов тест (Scheffé's post-hoc test); (a) Делиблатска пешчара – ТЕНТ-А; (b) Делиблатска пешчара – Велика Морави (Багрдан); (c) ТЕНТ-А – Велика Морави (Багрдан); \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$ ; ns – нема статистички значајних разлика

Стеља *A. fruticosa* са депоније пепела ТЕНТ-А имала је статистички значајно веће вредности *n*-кумаринске киселине у односу на стељу *A. fruticosa* са алувијалног наноса Велике Мораве (Багрдан) ( $p < 0.05$ ). Статистички значајно веће вредности 3-НВА имала је стеља *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре у односу на ТЕНТ-А и алувијални нанос Велике Мораве (Багрдан) ( $p < 0.001$ ). Такође, стеља *A. fruticosa* са алувијалног наноса Велике Мораве (Багрдан) имала је значајно већи садржај 3-НВА у односу на стељу са депоније пепела ТЕНТ-А ( $p < 0.01$ ). Садржај 3,5-DHBA био је значајно већи у стељи *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре у односу на ТЕНТ-А и алувијални нанос Велике Мораве (Багрдан) ( $p < 0.05$ ,  $p < 0.01$ ). Стеља *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре и са депоније пепела ТЕНТ-А имала је значајно веће вредности ферулинске киселине у односу на стељу *A. fruticosa* са алувијалног наноса Велике Мораве (Багрдан) ( $p < 0.001$ ). Садржај рутина у стељи *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре и са депоније пепела ТЕНТ-А био је значајно већи у односу на стељу *A. fruticosa* са алувијалног наноса Велике Мораве (Багрдан) ( $p < 0.01$ ). Такође, стеља *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре имала је статистички значајно веће концентрације рутина у односу на стељу *A. fruticosa* са депоније пепела ТЕНТ-А ( $p < 0.001$ ).

### 5.5.4. Садржај фенолних једињења у листовима и стељи – упоредна анализа испитиваних биљних врста

Резултати двофакторске анализе варијансе (factorial ANOVA), у којој су анализирани утицаји станишта и врсте биљке на варијабилност садржаја фенолних једињења у листовима и стељи испитиваних врста, приказани су у Табели 56. Статистички значајно већи утицај имао је фактор станиште на садржај 3-НВА у листовима и стељи ( $p < 0.001$ ), док је утицај фактора врста биљке био значајнији код 3,5-ДНВА, *n*-кумаринске и ферулинске киселине, као и рутина ( $p < 0.001$ ).

**Табела 56.** Утицај станишта и врсте биљке на варијабилност садржаја фенолних једињења у листовима и стељи испитиваних биљних врста

Параметар	Лист					
	Станиште		Врста биљке		Станиште * Врста биљке	
	F	p	F	p	F	p
<b>3,5-ДНВА</b>	5.12	*	<b>24.52</b>	***	1.78	ns
<b>3-НВА</b>	<b>92.76</b>	***	16.39	***	0.47	ns
<b><i>n</i>-Кумаринска киселина</b>	14.30	***	<b>98.85</b>	***	20.95	***
<b>Ферулинска киселина</b>	7.05	*	<b>60.80</b>	***	45.79	***
<b>Рутин</b>	0.01	ns	<b>52.55</b>	***	0.12	ns
	Стеља					
	Станиште		Врста биљке		Станиште * Врста биљке	
	F	p	F	p	F	p
<b>3,5-ДНВА</b>	184.85	***	<b>278.37</b>	***	48.86	***
<b>3-НВА</b>	<b>1423.97</b>	***	1099.19	***	2977.50	***
<b><i>n</i>-Кумаринска киселина</b>	35.47	***	<b>127.36</b>	***	25.06	***
<b>Ферулинска киселина</b>	0.00	ns	<b>130.15</b>	***	6.66	*
<b>Рутин</b>	75.97	***	<b>1011.29</b>	***	264.86	***

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA), \*  $p < 0.05$ , \*\*\*  $p < 0.001$ , ns – нема статистички значајних разлика

Резултати упоредне анализе садржаја фенолних једињења у листовима испитиваних врста биљака приказани су у Табели 57. Статистички значајно веће вредности *n*-кумаринске киселине забележене су у листовима *R. pseudoacacia* у односу на *A. altissima* из Делиблатске пешчаре ( $p < 0.001$ ). Такође, садржај *n*-кумаринске киселине био је статистички значајно већи у листовима *A. fruticosa* у односу на *A. altissima* из Делиблатске пешчаре ( $p < 0.001$ ). Разлике у садржају ове киселине у листовима *R. pseudoacacia* и *A. fruticosa* нису биле значајне (ns). Садржај 3-НВА био је значајно већи у листовима *A. fruticosa* у односу на *A. altissima* ( $p < 0.01$ ). Разлике у садржају 3-НВА између *R. pseudoacacia* и *A. altissima*, као и *R. pseudoacacia* и *A. fruticosa* нису биле статистички значајне (ns). Садржај 3,5-ДНВА био је значајно већи у листовима *A. altissima* у односу на *R. pseudoacacia* ( $p < 0.01$ ) и *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре ( $p < 0.05$ ). Разлике у садржају 3,5-ДНВА између *R. pseudoacacia* и *A. fruticosa* нису биле статистички значајне (ns). Садржај ферулинске киселине и рутина био је статистички значајно већи у листовима *A. fruticosa* у односу на *R. pseudoacacia* и *A. altissima* из Делиблатске пешчаре ( $p < 0.001$ ). Разлике у садржају ферулинске киселине и рутина између *R. pseudoacacia* и *A. altissima* из Делиблатске пешчаре нису биле статистички значајне (ns).



**Табела 57.** Упоредна анализа садржаја фенолних једињења у листовима испитиваних врста биљака на различитим стаништима

Параметар	Врста биљке			Станиште
	<i>R. pseudoacacia</i>	<i>A. altissima</i>	<i>A. fruticosa</i>	
3,5-ДНВА	b <sup>ns</sup>	a <sup>***</sup> c <sup>*</sup>	-	Делиблатска пешчара
3-НВА	a <sup>ns</sup> b <sup>ns</sup>	-	c <sup>**</sup>	
Ферулинска киселина	a <sup>ns</sup>	-	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>	
<i>n</i> -Кумаринска киселина	a <sup>***</sup> b <sup>ns</sup>	-	c <sup>***</sup>	
Рутин	a <sup>ns</sup>	-	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>	
	<i>R. pseudoacacia</i>	<i>A. altissima</i>	<i>A. fruticosa</i>	
3,5-ДНВА	-	a <sup>***</sup> c <sup>ns</sup>	b <sup>***</sup>	Депонија пепела (ТЕНТ-А)
3-НВА	a <sup>***</sup>	-	b <sup>**</sup> c <sup>***</sup>	
Ферулинска киселина	a <sup>***</sup> b <sup>ns</sup>	-	c <sup>***</sup>	
<i>n</i> -Кумаринска киселина	a <sup>***</sup> b <sup>***</sup>	-	c <sup>***</sup>	
Рутин	a <sup>ns</sup>	-	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>	

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA) и Шефев тест (Scheffé's post-hoc test); *R. pseudoacacia* – *A. altissima*; (b) *R. pseudoacacia* – *A. fruticosa*; (c) *A. altissima* – *A. fruticosa*; \* p<0.05, \*\* p<0.01, \*\*\* p<0.001; ns – нема статистички значајних разлика.

Статистички значајно веће вредности *n*-кумаринске киселине забележене су у листовима *R. pseudoacacia* у односу на листове *A. altissima* и *A. fruticosa* са депоније пепела ТЕНТ-А (p<0.001). Такође, листови *A. fruticosa* имали су статистички значајно веће концентрације ове киселине у односу на *A. altissima* (p<0.001). Садржај 3-НВА био је значајно већи у листовима *A. fruticosa* у односу на *R. pseudoacacia* и *A. altissima* са депоније пепела ТЕНТ-А (p<0.01, p<0.001). Такође, листови *R. pseudoacacia* имали су значајно веће вредности 3-НВА у односу на *A. altissima* (p<0.001). Садржај 3,5-ДНВА био је значајно већи у листовима *A. altissima* и *A. fruticosa* у односу на *R. pseudoacacia* (p<0.001). Разлике у садржају 3,5-ДНВА између *A. altissima* и *A. fruticosa* нису биле статистички значајне (ns). Садржај ферулинске киселине био је значајно већи у листовима *R. pseudoacacia* и *A. fruticosa* у односу на *A. altissima* са депоније пепела ТЕНТ-А (p<0.001). Разлике у садржају овог једињења између *R. pseudoacacia* и *A. fruticosa* нису биле статистички значајне (ns). Садржај рутина у листовима *A. fruticosa* био је статистички значајно већи у односу на листове *R. pseudoacacia* и *A. altissima* са депоније пепела ТЕНТ-А (p<0.001). Разлике у садржају рутина између *R. pseudoacacia* и *A. altissima* са депоније пепела ТЕНТ-А нису биле статистички значајне (ns).

Резултати упоредне анализе садржаја фенолних једињења у стељи испитиваних врста биљака приказани су у Табели 58. Садржај *n*-кумаринске киселине, 3-НВА, 3,5-ДНВА и ферулинске киселине био је статистички значајно већи у стељи *A. fruticosa* у односу на стељу *R. pseudoacacia* и *A. altissima* из Делиблатске пешчаре (p<0.001). Такође, стеља *A. fruticosa* имала је значајно веће концентрације рутина у односу на *R. pseudoacacia* и *A. altissima* из Делиблатске пешчаре (p<0.001, p<0.01). Разлике у садржају *n*-кумаринске киселине између стеље *R. pseudoacacia* и *A. altissima* нису биле статистички значајне (ns). Стеља *R. pseudoacacia* имала је значајно веће концентрације 3-НВА у односу на *A. altissima*, док је садржај 3,5-ДНВА, ферулинске киселине и рутина био статистички значајно већи код *A. altissima* у односу на стељу *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре (p<0.001).

**Табела 58.** Упоредна анализа садржаја фенолних једињења у стељи испитиваних врста биљака на различитим стаништима

Параметар	Врста биљке			Станиште
	<i>R. pseudoacacia</i>	<i>A. altissima</i>	<i>A. fruticosa</i>	
3,5-ДНВА	-	a <sup>***</sup>	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>	Делиблатска пешчара
3-НВА	a <sup>***</sup>	-	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>	
Ферулинска киселина	-	a <sup>***</sup>	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>	
<i>n</i> -Кумаринска киселина	a <sup>ns</sup>	-	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>	
Рутин	-	a <sup>***</sup>	b <sup>***</sup> c <sup>**</sup>	
	<i>R. pseudoacacia</i>	<i>A. altissima</i>	<i>A. fruticosa</i>	Депонија пепела (ТЕНТ-А)
3,5-ДНВА	-	a <sup>**</sup> c <sup>**</sup>	b <sup>***</sup>	
3-НВА	b <sup>***</sup>	a <sup>**</sup> c <sup>***</sup>	-	
Ферулинска киселина	-	a <sup>**</sup> c <sup>ns</sup>	b <sup>***</sup>	
<i>n</i> -Кумаринска киселина	a <sup>ns</sup>	-	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>	
Рутин	-	a <sup>***</sup>	b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>	

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA) и Шефев тест (Scheffé's post-hoc test); *R. pseudoacacia* – *A. altissima*; (b) *R. pseudoacacia* – *A. fruticosa*; (c) *A. altissima* – *A. fruticosa*; \* p<0.05, \*\* p<0.01, \*\*\* p<0.001; ns – нема статистички значајних разлика

Садржај *n*-кумаринске киселине био је статистички значајно већи у стељи *A. fruticosa* у односу на *R. pseudoacacia* и *A. altissima* (p<0.001) са депоније пепела ТЕНТ-А. Разлике у садржају ове киселине између *R. pseudoacacia* и *A. altissima* нису биле статистички значајне (ns). Стеља *A. altissima* имала су значајно веће концентрације 3-НВА у односу на *R. pseudoacacia* (p<0.01) и *A. altissima* (p<0.001). Такође, стеља *R. pseudoacacia* имала је значајно веће концентрације 3-НВА у односу на *A. altissima* са депоније пепела ТЕНТ-А (p<0.001). Садржај 3,5-ДНВА био је статистички значајно већи у стељи *A. altissima* у односу на *R. pseudoacacia* и *A. fruticosa* (p<0.001, p<0.01). Такође, садржај 3,5-ДНВА био је значајно већи у стељи *A. fruticosa* у односу на *R. pseudoacacia* са депоније пепела ТЕНТ-А (p<0.001). Садржај ферулинске киселине био је значајно већи у стељи *A. fruticosa* у односу на *R. pseudoacacia* (p<0.001), као и код *A. altissima* у односу на *R. pseudoacacia* (p<0.001), док су разлике у садржају ове киселине између *A. altissima* и *A. fruticosa* са депоније пепела ТЕНТ-А биле без статистичке значајности (ns). Стеља *A. fruticosa* имала је значајно веће концентрације рутина у односу на *R. pseudoacacia* и *A. altissima* (p<0.001). Такође, садржај рутина у стељи *A. altissima* био је статистички значајно већи у односу на *R. pseudoacacia* са депоније пепела ТЕНТ-А (p<0.001).

## 5.6. Инхибиторна активност испитиваних врста биљака на различитим стаништима

### 5.6.1. Инхибиторна активност *Robinia pseudoacacia* на различитим стаништима

Резултати двофакторске анализе варијансе (factorial ANOVA) у којој је анализиран утицај станишта и типа супстрата на инхибицију раста коренка индикаторске врсте *T. pratense* приказани су у Табели 59. Статистички значајан утицај имао је тип супстрата ( $p < 0.001$ ), док је утицај фактора станиште био без статистичке значајности (ns).

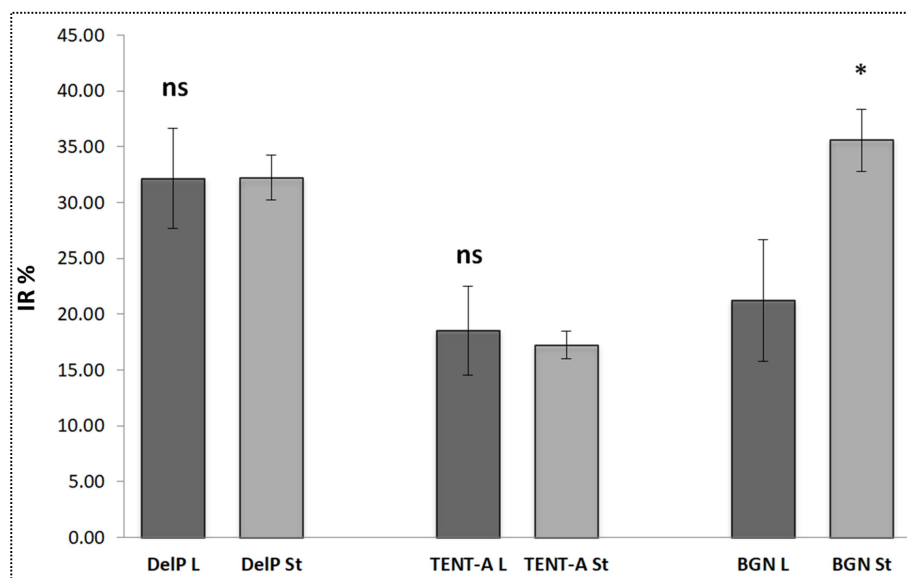
Табела 59. Утицај станишта и типа супстрата на варијабилност инхибиције раста коренка *T. pratense* у супстрату *R. pseudoacacia*

Параметар	Станиште		Тип супстрата		Станиште * Тип супстрата	
	F	p	F	p	F	p
Инхибиција раста коренка <i>T. pratense</i>	1.613	ns	42.88	***	52.679	***

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA), \*\*\*  $p < 0.001$ ; ns – нема статистичке значајности

Вредности инхибиције раста коренка индикаторске врсте *Trifolium pratense* на различитим стаништима, приказане су на Слици 30 и Табели 60. Разлике у инхибицији раста коренка индикаторске врсте у тестовима са контролним и ризосферним супстратом *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре и са депоније пепела ТЕНТ-А нису биле статистички значајне (ns). Статистички значајно веће вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* су забележене за контролни супстрат са јаловишта азбеста Страгари у односу на ризосферни супстрат *R. pseudoacacia* ( $p < 0.001$ ).

Резултати упоредне анализе инхибиције раста коренка индикаторске врсте *T. pratense* показали су да не постоје статистички значајне разлике у инхибицији раста *T. pratense* између контролног супстрата из Делиблатске пешчаре и депоније пепела ТЕНТ-А (ns). Статистички значајно веће вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* су измерене на контролном супстрату са јаловишта азбеста Страгари у односу на Делиблатску пешчару и депонију пепела ТЕНТ-А ( $p < 0.001$ ). Разлике у вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* између ризосферног супстрата из Делиблатске пешчаре и депоније пепела ТЕНТ-А нису биле статистички значајне (ns). Статистички значајно веће вредности инхибиције раста *T. pratense* имао је ризосферни супстрат *R. pseudoacacia* са депоније пепела ТЕНТ-А у односу на јаловиште азбеста у Страгарима ( $p < 0.001$ ). Такође, ризосферни супстрат *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре имао је статистички значајно већу вредност инхибиције раста *T. pratense* у односу на ризосферни супстрат ове врсте са јаловишта азбеста Страгари ( $p < 0.01$ ).



**Слика 30.** Инхибиција раста коренка индикаторске врсте *T. pratense* (IR%) у биотестовима са супстратом *R. pseudoacacia* на различитим стаништима. Со DelP – контролни супстрат из Делиблатске пешчаре, Rp DelP – ризосферни супстрат *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре, Со TENT-A – контролни супстрат са депоније пепела TENT-A, Rp TENT-A – ризосферни супстрат *R. pseudoacacia* са депоније пепела TENT-A, Со STG – контролни супстрат са јаловишта азбеста Страгари, Rp STG – ризосферни супстрат *R. pseudoacacia* са јаловишта азбеста Страгари. \*\*\*  $p < 0.001$ , ns – нема статистички значајних разлика

**Табела 60.** Инхибиција раста коренка *T. pratense* (%) у биотестовима са супстратом *R. pseudoacacia* на различитим стаништима

Тип супстрата/Станиште	Делиблатска пешчара	Депонија пепела (TENT-A)	Јаловиште азбеста (Страгари)
Контролни супстрат	34.11 (2.246) a <sup>ns</sup>	31.16 (2.050)	50.82 (3.245) b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>
Ризосферни супстрат	29.02 (4.942) a <sup>ns</sup> b <sup>**</sup>	32.50 (4.045) c <sup>***</sup>	18.67 (5.320)

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA) и Шефеов тест (Scheffé's post-hoc test); резултати су представљени као M (SD), n=450; (a) Делиблатска пешчара – TENT-A, (b) Делиблатска пешчара – Страгари, (c) TENT-A – Страгари; \*\*  $p < 0.001$ , \*\*\*  $p < 0.001$ , ns – нема статистички значајних разлика

Вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* биле су у статистички значајно позитивној **корелацији** са вредностима pH (H<sub>2</sub>O) и pH (KCl) ( $r=0.984$ ,  $p < 0.001$ ;  $r=0.994$ ,  $p < 0.001$ ), као и са вредностима C/N ( $r=0.984$ ,  $p < 0.001$ ) и садржајем K<sub>2</sub>O ( $r=0.691$ ,  $p < 0.05$ ) у ризосферном супстрату *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре. Статистички значајно негативна корелација утврђена је између инхибиције раста коренка и садржаја P<sub>2</sub>O у ризосферном супстрату *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре ( $r=-0.979$ ,  $p < 0.001$ ). Статистички значајно позитивна корелација утврђена је између вредности инхибиције раста *T. pratense* и садржаја Mn и Fe ( $r=0.859$ ,  $p < 0.01$ ;  $r=0.762$ ,  $p < 0.05$ ), а негативне корелације између коренка и *T. pratense* и садржаја Zn и Cu ( $r=-0.928$ ,  $p < 0.001$ ;  $r=-0.685$ ,  $p < 0.05$ ) у ризосферном супстрату *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре. Такође, инхибиција раста коренка *T. pratense* била је у статистички значајно позитивној корелацији са садржајем *n*-кумаринске киселине и 3-НВА у ризосферном супстрату *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре ( $r=0.611$ ,  $p < 0.01$ ;  $r=0.919$ ,  $p < 0.001$ ) (Прилог 1).

Инхибиција раста коренка *T. pratense* била је у статистички значајно негативној корелацији са вредностима pH (H<sub>2</sub>O) и pH (KCl) ( $r=-0.880$ ,  $p < 0.01$ ;  $r=-0.928$ ,  $p < 0.001$ )

ризосферног супстрата *R. pseudoacacia* са депоније пепела ТЕНТ-А. Статистички значајно позитивне корелације утврђене су између инхибиције раста коренка *T. pratense* и садржаја N и P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> у ризосферном супстрату *R. pseudoacacia* са депоније пепела ТЕНТ-А ( $r=0.851$ ,  $p<0.01$ ;  $r=0.676$ ,  $p<0.05$ ). Вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* биле су у статистички значајној позитивној корелацији са садржајем Mn, Fe, Zn и Cu у ризосферном супстрату *R. pseudoacacia* са депоније пепела ТЕНТ-А ( $r=0.985$ ,  $p<0.001$ ;  $r=0.724$ ,  $p<0.05$ ;  $r=0.943$ ,  $p<0.001$ ;  $r=0.987$ ,  $p<0.001$ ), а у статистички значајној негативној корелацији у односу на садржај Ni у ризосферном супстрату *R. pseudoacacia* са депоније пепела ТЕНТ-А ( $r=-0.955$ ,  $p<0.001$ ) (Прилог 1).

На јаловишту азбеста Страгари утврђене су статистички значајно позитивне корелације између вредности инхибиције раста *T. pratense* и рН (KCl) ( $r=0.948$ ,  $p<0.001$ ), док су статистички значајно негативне корелације утврђене у односу на садржај C и P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> у ризосферном супстрату *R. pseudoacacia* са јаловишта азбеста Страгари ( $r=-0.769$ ,  $p<0.05$ ;  $r=-0.883$ ,  $p<0.01$ ). Такође, на овом станишту, инхибиција раста коренка *T. pratense* била је у статистички значајно позитивној корелацији са вредностима Ni ( $r=0.955$ ,  $p<0.001$ ), а у негативној корелацији са садржајем Mn ( $r=-0.917$ ,  $p<0.01$ ) у ризосферном супстрату *R. pseudoacacia* са јаловишта азбеста Страгари (Прилог 1).

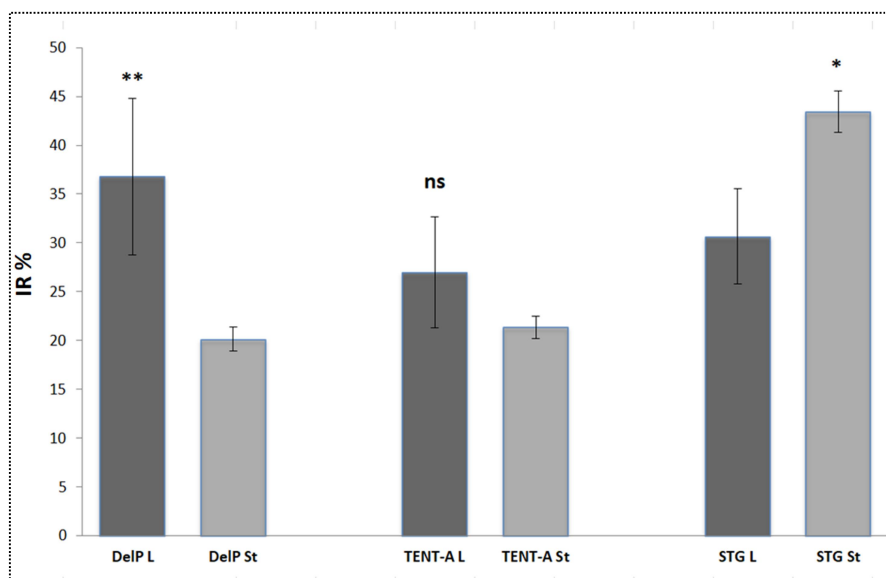
Резултати двофакторске анализе варијансе (factorial ANOVA) показали су да је на вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* у биотестовима са листовима и стељом *R. pseudoacacia* статистички значајан утицај имало станиште и тип биљног материјала ( $p<0.01$ ,  $p<0.001$ ), при чему је утицај типа биљног материјала био израженији (Табела 61).

**Табела 61.** Утицај станишта и типа биљног материјала (лист/стеља) *R. pseudoacacia* на варијабилност инхибиције раста коренка *T. pratense*

Параметар	Станиште		Тип биљног материјала		Станиште *	
	F	p	F	p	F	p
Инхибиција раста коренка <i>T. pratense</i>	7.64	**	14.33	***	68.54	***

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA), \*\*  $p<0.01$ , \*\*\*  $p<0.001$

Статистички значајно веће вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* имали су листови *R. pseudoacacia* у односу на стељу из Делиблатске пешчаре ( $p<0.01$ ). Са друге стране, стеља *R. pseudoacacia* показала је већу инхибиторну активност у односу на листове са јаловишта азбеста Страгари ( $p<0.01$ ). Разлике у вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* између листова и стеље *R. pseudoacacia* са депоније пепела ТЕНТ-А нису биле статистички значајне (ns) (Слика 31).



Слика 31. Инхибиција раста коренка индикаторске врсте *T. pratense* (IR%) у биотестовима са листовима и стељом *R. pseudoacacia* на различитим стаништима. DelP L – листови *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре, DelP St – стеља *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре, TENT-A L – листови *R. pseudoacacia* са депоније пепела ТЕНТ-А, TENT-A St – стеља *R. pseudoacacia* са депоније пепела ТЕНТ-А, STG L – листови *R. pseudoacacia* са јаловишта азбеста Страгари, STG St – стеља *R. pseudoacacia* са јаловишта азбеста Страгари. \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , ns – нема статистички значајних разлика

Разлике у вредности инхибиције коренка *T. pratense* код листова *R. pseudoacacia* са испитиваних станишта нису биле статистички значајне (ns). Међутим, статистички значајно веће вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* је стеља *R. pseudoacacia* са станишта Страгари у односу на Делиблатску пешчару и ТЕНТ-А ( $p < 0.001$ ). Разлике у инхибицији раста коренка *T. pratense* код стеље из Делиблатске пешчаре и са депоније пепела ТЕНТ-А нису биле статистички значајне (ns) (Табела 62).

Табела 62. Инхибиција раста коренка *T. pratense* (%) у биотестовима са биљним материјалом *R. pseudoacacia* (лист/стеља) на различитим стаништима

Тип биљног материјала/Станиште	Делиблатска пешчара	Депонија пепела (ТЕНТ-А)	Јаловиште азбеста (Страгари)
Лист	36.79 (8.045) a <sup>ns</sup> b <sup>ns</sup>	26.98 (5.703) c <sup>ns</sup>	30.65 (4.880)
Стеља	20.12 (1.240) a <sup>ns</sup>	21.33 (1.110)	43.42 (2.140) c <sup>***</sup> b <sup>***</sup>

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA) и Шефев тест (Scheffé's post-hoc test); резултати су представљени као М (SD), n=450; (a) Делиблатска пешчара – ТЕНТ-А, (b) Делиблатска пешчара – Страгари, (c) ТЕНТ-А – Страгари; \*\*\*  $p < 0.001$ , ns – нема статистички значајних разлика

На станишту Делиблатска пешчара инхибиција раста коренка била је у статистички значајно позитивној **корелацији** са Ni и Cu ( $r=0.970$ ,  $p < 0.01$ ;  $r=0.829$ ,  $p < 0.01$ ), а у негативној корелацији са Mn, Fe и Cr у листовима *R. pseudoacacia* ( $r=-0.981$ ,  $p < 0.001$ ;  $r=-0.966$ ,  $p < 0.001$ ;  $r=-0.878$ ,  $p < 0.01$ ). Такође, статистички значајно позитивна корелација утврђена је између инхибиције раста коренка *T. pratense* и садржаја *n*-кумаринске и ферулинске киселине ( $r=0.746$ ,  $p < 0.05$ ;  $r=0.872$ ,  $p < 0.01$ ), а негативна са 3-НВА у листовима *R. pseudoacacia* ( $r=-0.751$ ,  $p < 0.05$ ) (Прилог 2).

На депонији пепела ТЕНТ-А, инхибиција раста коренка *T. pratense* била је у статистички значајно позитивној корелацији са садржајем Ni у листовима *R.*

*pseudoacacia* ( $r=0.45$ ,  $p<0.05$ ). Са друге стране, инхибиција раста коренка *T. pratense* била је у негативној са Mn, Fe, Zn и Cu у листовима *R. pseudoacacia* ( $r=-0.715$ ,  $p<0.05$ ;  $r=-0.708$ ,  $p<0.05$ ;  $r=-0.808$ ,  $p<0.01$ ;  $r=-0.723$ ,  $p<0.05$ ). Такође, инхибиција раста била је у статистички значајно позитивној корелацији са садржајем 3,5-ДНВА, *n*-кумаринске и ферулинске киселине у листовима *R. pseudoacacia* са депоније пепела ТЕНТ-А ( $r=0.8509$ ,  $p<0.01$ ;  $r=0.898$ ,  $p<0.05$ ;  $r=0.818$ ,  $p<0.01$ ;  $r=0.945$ ,  $p<0.001$ ) (Прилог 2).

На јаловишту азбеста Страгари утврђена је статистички значајно позитивна корелација између инхибиције раста коренка *T. pratense* и садржаја Mn, Zn, Cu и Cr у листовима *R. pseudoacacia* ( $r=0.957$ ,  $p<0.001$ ;  $r=0.894$ ,  $p<0.01$ ;  $r=0.955$ ,  $p<0.001$ ;  $r=0.846$ ,  $p<0.05$ ). Такође, инхибиција раста коренка била је у статистички значајно позитивној корелацији са садржајем ферулинске киселине и 3-НВА ( $r=0.817$ ,  $p<0.05$ ;  $r=0.746$ ,  $p<0.05$ ), а у негативној корелацији са садржајем *n*-кумаринске киселине и 3,5-ДНВА у листовима *R. pseudoacacia* са јаловишта азбеста Страгари ( $r=-0.734$ ,  $p<0.05$ ;  $r=-0.743$ ,  $p<0.05$ ) (Прилог 2).

### 5.6.2. Инхибиторна активност *Ailanthus altissima* на различитим стаништима

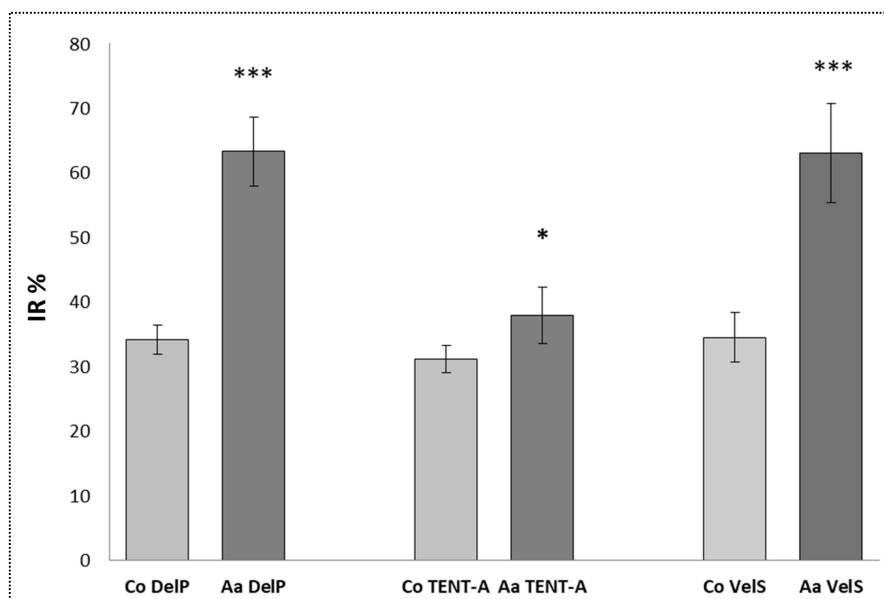
Резултати двофакторске анализе варијансе (factorial ANOVA) у којој је анализиран утицај станишта и типа супстрата на инхибицију раста коренка индикаторске врсте *T. pratense* приказани су у Табели 63. Статистички значајан утицај имали су станиште и тип супстрата ( $p<0.001$ ), при чему је утицај типа супстрата на варијабилност инхибиције раста коренка индикаторске врсте *T. pratense* био израженији.

Табела 63. Утицај станишта и типа супстрата на варијабилност инхибиције раста коренка *T. pratense* у биотестовима са супстратом *A. altissima*

Параметар	Станиште		Тип супстрата		Станиште * Врста биљке	
	F	p	F	P	F	p
Инхибиција раста коренка <i>T. pratense</i>	67.99	***	349.78	***	41.154	***

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA) \*\*\*  $p<0.001$

Статистички значајно веће вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* имали су ризосферни супстрат *A. altissima* из Делиблатске пешчаре и са депоније пепела ТЕНТ-А у односу на контролни супстрат из ових станишта ( $p<0.001$ ,  $p<0.05$ ). Такође, ризосферни супстрат *A. altissima* са кречњачког станишта Крш – Велики Шењ имао је статистички значајно веће вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* у односу на контролни супстрат ( $p<0.001$ ) (Слика 32).



**Слика 32.** Инхибиција раста коренка индикаторске врсте *T. pratense* (IR%) у биотестовима са супстратом *A. altissima* на различитим стаништима. Co DelP – контролни супстрат из Делиблатске пешчаре, Aa DelP – ризосферни супстрат *A. altissima* из Делиблатске пешчаре, Co TENT-A – контролни супстрат са депоније пепела ТЕНТ-А, Aa TENT-A – ризосферни супстрат *A. altissima* са депоније пепела ТЕНТ-А, Co Vels – контролни супстрат са кречњачког станишта Крш – Велики Шењ, Aa Vels – ризосферни супстрат *A. altissima* са станишта Крш – Велики Шењ. \*\*\*  $p < 0.001$ , ns – нема статистички значајних разлика

Резултати упоредне анализе инхибиторне активности супстрата *A. altissima* показали су да између контролног супстрата из Делиблатске пешчаре, депоније пепела ТЕНТ-А и кречњачког станишта Крш – Велики Шењ не постоје статистички значајне разлике у погледу инхибиције раста *T. pratense* (ns). Статистички значајно већу инхибицију раста коренка *T. pratense* показао је ризосферни супстрат *A. altissima* из Делиблатске пешчаре и са кречњачког станишта Крш – Велики Шењ у односу на ТЕНТ-А ( $p < 0.001$ ). Разлике у инхибицији раста коренка *T. pratense* између ризосферног супстрата *A. altissima* из Делиблатске пешчаре и са кречњачког станишта Крш – Велики Шењ нису биле статистички значајне (ns) (Табела 64).

**Табела 64.** Инхибиција раста коренка *T. pratense* (%) у биотестовима са супстратом *A. altissima* на различитим стаништима

Тип супстрата/станиште	Делиблатска пешчара	Депонија пепела (ТЕНТ-А)	Кречњачко станиште (Крш – Велики Шењ)
Контролни супстрат	34.11 (2.246) a <sup>ns</sup> b <sup>ns</sup>	31.16 (2.050) c <sup>ns</sup>	34.53 (3.785)
Ризосферни супстрат	63.293 (5.314) a <sup>***</sup> b <sup>ns</sup>	37.92 (3.385)	63.10 (7.689) c <sup>***</sup>

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA) и Шефев тест (Scheffé's post-hoc test); резултати су представљени као M (SD), n=450; (a) Делиблатска пешчара – ТЕНТ-А; (b) Делиблатска пешчара – Крш – Велики Шењ; (c) ТЕНТ-А – Крш-Велики Шењ; \*\*\*  $p < 0.001$ , ns – нема статистички значајних разлика

Инхибиција раста коренка била је у статистички значајно позитивној **корелацији** са садржајем C, N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O у ризосферном супстрату *A. altissima* из Делиблатске пешчаре ( $r=0.957$ ,  $p < 0.001$ ;  $0.875$ ,  $p < 0.01$ ;  $r=0.752$ ,  $p < 0.05$ ;  $r=0.759$ ,  $p < 0.05$ ). Статистички значајно негативна корелација утврђена је између инхибиције раста коренка *T. pratense* и рН (KCl) у супстрату ( $r=-0.745$ ,  $p < 0.05$ ). Инхибиција раста коренка



*T. pratense* била је у статистички значајно негативној корелацији са садржајем Mn, Ni, Fe и Cu у супстрату ( $r=-0.910$ ,  $p<0.01$ ;  $r=-0.897$ ,  $p<0.01$ ;  $r=-0.969$ ,  $p<0.001$ ;  $r=-0.669$ ,  $p<0.05$ ), док су позитивне корелације утврђене између инхибиције раста коренка *T. pratense* и садржаја Cr у супстрату ( $r=0.844$ ,  $p<0.01$ ). Статистички значајно позитивна корелација утврђена је између инхибиције раста коренка *T. pratense* и 3,5-DHBA у ризосферном супстрату *A. altissima* из Делиблатске пешчаре ( $r=0.766$ ,  $p<0.001$ ) (Прилог 3).

Инхибиција раста коренка била је у статистички значајно позитивној корелацији са садржајем N и вредностима односа C/N у ризосферном супстрату *A. altissima* са депоније пепела ТЕНТ-А ( $r=0.842$ ,  $p<0.01$ ;  $r=0.941$ ,  $p<0.001$ ). Статистички значајно негативна корелација утврђена је између инхибиције раста коренка и вредности рН (H<sub>2</sub>O) и рН (KCl) ( $r=-0.747$ ,  $p<0.05$ ;  $r=-0.998$ ,  $p<0.001$ ). Инхибиција раста коренка *T. pratense* била је у статистички значајно негативној корелацији са садржајем Mn, Fe, Zn и Cu у супстрату ( $r=-0.720$ ,  $p<0.05$ ;  $r=-0.756$ ,  $p<0.05$ ;  $r=-0.959$ ,  $p<0.001$ ;  $r=-0.764$ ,  $p<0.05$ ). На депонији пепела ТЕНТ-А није било статистички значајних корелација између садржаја фенолних једињења у супстрату и инхибиције раста коренка *T. pratense* (Прилог 3).

На кречњачком станишту Крш – Велики Шењ инхибиција раста коренка *T. pratense* била је у статистички значајно позитивној корелацији са вредностима рН (H<sub>2</sub>O) и рН (KCl) ( $r=0.916$ ,  $p<0.001$ ;  $r=0.534$ ,  $p<0.05$ ), садржајем C, N и вредностима C/N у ризосферном супстрату *A. altissima* ( $r=0.754$ ,  $p<0.001$ ;  $r=0.625$ ,  $p<0.01$ ;  $r=0.945$ ,  $p<0.001$ ). Инхибиција раста коренка *T. pratense* била је у статистички значајно негативној корелацији са садржајем Mn, Ni, Fe и Zn у ризосферном супстрату *A. altissima* ( $r=-0.916$ ,  $p<0.01$ ;  $r=-0.758$ ,  $p<0.05$ ;  $r=-0.947$ ,  $p<0.001$ ;  $r=-0.968$ ,  $p<0.001$ ) а у позитивној корелацији са садржајем Cr у супстрату ( $r=0.923$ ,  $p<0.001$ ). Инхибиција раста коренка *T. pratense* била је у статистички значајно позитивној корелацији са садржајем 3,5-DHBA и ферулинске киселине у ризосферном супстрату *A. altissima* са кречњачког станишта Крш – Велики Шењ ( $r=0.935$ ,  $p<0.001$ ;  $r=0.938$ ,  $p<0.001$ ) (Прилог 3).

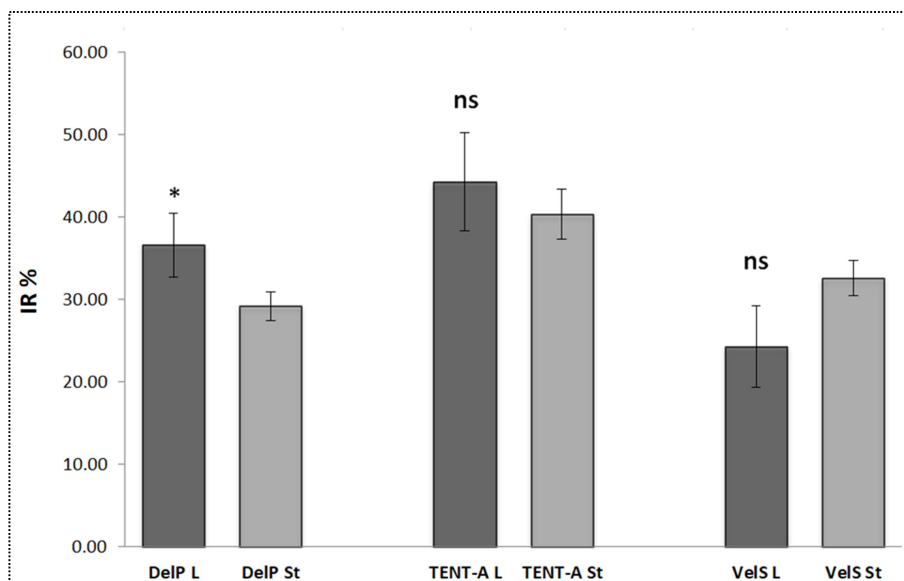
Резултати двофакторске анализе варијансе (factorial ANOVA) показали су да на вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* статистички значајан утицај имају станиште и тип биљног материјала ( $p<0.001$ ), при чему је утицај станишта израженији (Табела 65).

**Табела 65.** Утицај станишта и типа биљног материјала (лист/стеља) на варијабилност инхибиције раста коренка *T. pratense* у биотестовима код *A. altissima*

Параметар	Станиште		Тип биљног материјала		Станиште * Тип биљног материјала	
	F	p	F	p	F	p
Инхибиција раста коренка <i>T. pratense</i>	112.597	***	84.032	***	27.485	***

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA), \*\*\*  $p<0.001$

Статистички значајно веће вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* имали су **листови** *A. altissima* из Делиблатске пешчаре односу на **стељу** ( $p<0.05$ ). Разлике у инхибицији раста коренка *T. pratense* између листова и стеље *A. altissima* са депоније пепела ТЕНТ-А и са кречњачког станишта Крш – Велики Шењ нису биле статистички значајне (ns) (Слика 33).



Слика 33. Инхибиција раста коренка индикаторске врсте *T. pratense* (IR%) у биотестовима са листовима и стељом *A. altissima* на различитим стаништима. DeLP L – листови *A. altissima* из Делиблатске пешчаре, DeLP St – стеља *A. altissima* из Делиблатске пешчаре, TENT-A L – листови *A. altissima* са депоније пепела ТЕНТ-А, TENT-A St – стеља *A. altissima* са депоније пепела ТЕНТ-А, VelS L – листови *A. altissima* са кречњачког станишта Крш – Велики Шењ, VelS St – стеља *A. altissima* са станишта Крш – Велики Шењ \*  $p < 0.05$ , ns – нема статистички значајних разлика

Статистички значајно веће вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* имали су листови *A. altissima* са депоније пепела ТЕНТ-А у односу на Делиблатску пешчару и кречњачко станиште Крш – Велики Шењ ( $p < 0.01$ ,  $p < 0.001$ ). Такође, листови *A. altissima* из Делиблатске пешчаре имали су статистички значајно веће вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* у односу на кречњачко станиште Крш – Велики Шењ ( $p < 0.05$ ). Вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* код стеље *A. altissima* са депоније пепела ТЕНТ-А биле су статистички значајно веће у односу на Делиблатску пешчару и кречњачко станиште Крш – Велики Шењ ( $p < 0.01$ ). Разлике у инхибицији раста коренка *T. pratense* код стеље из Делиблатске пешчаре и кречњачког станишта Крш – Велики Шењ нису биле статистички значајне (ns) (Табела 66).

Табела 66. Инхибиција раста коренка *T. pratense* у биотестовима са биљним материјалом *A. altissima* (лист/стеља) на различитим стаништима

Тип биљног материјала/Станиште	Делиблатска пешчара	Депонија пепела ТЕНТ-А	Кречњачко станиште (Крш – Велики Шењ)
Лист	36.59 (3.91) b*	44.29 (8.636) a**c***	24.31 (4.934)
Стеља	29.214 (2.140) b <sup>ns</sup>	40.36 (2.980) a**c***	32.57 (2.120)

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA) и Шефев тест (Scheffé's post-hoc test); резултати су представљени као M (SD),  $n=450$ ; (a) Делиблатска пешчара – ТЕНТ-А, (b) Делиблатска пешчара – Крш – Велики Шењ, (c) ТЕНТ-А – Крш – Велики Шењ; \*\*  $p < 0.05$ , \*\*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*\*  $p < 0.001$ , ns – нема статистички значајних разлика

На станишту Делиблатска пешчара инхибиција раста коренка *T. pratense* била је у статистички значано негативној **корелацији** са Fe, Zn и Cu ( $r = -0.822$ ,  $p < 0.01$ ;  $r = -0.954$ ,

$p < 0.001$ ;  $r = -0.862$ ,  $p < 0.01$ ). Статистички значајно позитивне корелације утврђене су између инхибиције раста коренка *T. pratense* и садржаја *n*-кумаринске киселине, 3,5-DHBA и рутина ( $r = 0.959$ ,  $p < 0.001$ ;  $r = 0.973$ ,  $p < 0.001$ ;  $r = 0.955$ ,  $p < 0.01$ ) (Прилог 4).

На депонији пепела ТЕНТ-А, инхибиција раста коренка *T. pratense* била је у статистички значајно негативној корелацији са садржајем Mn, Fe, Cr у листовима *A. altissima* ( $r = -0.847$ ,  $p < 0.01$ ;  $r = -0.772$ ,  $p < 0.05$ ;  $r = -0.808$ ,  $p < 0.01$ ), а у позитивној корелацији са садржајем Cu ( $r = 0.842$ ,  $p < 0.05$ ). Такође, статистички значајно позитивна корелација утврђена је између садржаја *n*-кумаринске киселине, 3,5-DHBA и рутина и инхибиције раста коренка *T. pratense* ( $r = 0.836$ ,  $p < 0.01$ ;  $r = 0.881$ ,  $p < 0.01$ ;  $r = 0.823$ ,  $p < 0.01$ ). Негативна корелација је утврђена између инхибиције раста коренка *T. pratense* и садржаја ферулинске киселине у листовима *A. altissima* са депоније пепела ТЕНТ-А ( $r = -0.818$ ,  $p < 0.01$ ) (Прилог 4).

Висок садржај Mn и Zn у листовима *A. altissima* са кречњачког станишта Крш - Велики Шењ позитивно је корелисао са инхибицијом раста коренка *T. pratense* ( $r = 0.937$ ,  $p < 0.001$ ;  $r = 0.844$ ,  $p < 0.01$ ). Са друге стране, статистички значајно негативне корелације имао је садржај Ni и Cr у односу на инхибицију раста коренка *T. pratense* ( $r = -0.908$ ,  $p < 0.01$ ;  $r = -0.742$ ,  $p < 0.05$ ). Статистички значајно позитивне корелације имао је садржај *n*-кумаринске киселине, 3-НВА, 3,5-DHBA, ферулинске киселине и рутина у односу на инхибицију раста коренка *T. pratense* ( $r = 0.908$ ,  $p < 0.01$ ;  $r = 0.711$ ,  $p < 0.05$ ;  $r = 0.982$ ,  $p < 0.001$ ;  $r = 0.915$ ,  $p < 0.01$ ;  $r = 0.987$ ,  $p < 0.001$ ) (Прилог 4).

### 5.6.3. Инхибиторна активност *Amorpha fruticosa* на различитим стаништима

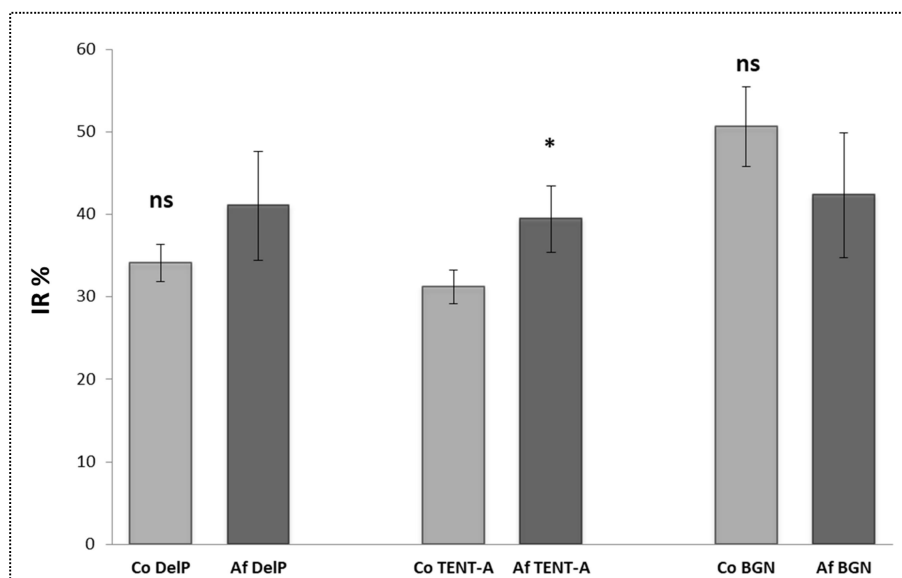
Резултати двофакторске анализе варијансе (factorial ANOVA) у којој је анализиран утицај типа станишта и супстрата на инхибицију раста коренка индикаторске врсте *T. pratense* приказани су у Табели 67. Статистички значајан утицај на варијабилност инхибиције раста коренка индикаторске врсте *T. pratense* имали су фактори станиште и тип супстрата ( $p < 0.001$ ,  $p < 0.01$ ), при чему је утицај станишта био израженији.

**Табела 67.** Утицај станишта и типа супстрата (контролни/ризосферни) на варијабилност инхибиције раста коренка *T. pratense* код *A. fruticosa*

Параметар	Станиште		Тип супстрата		Станиште * Тип супстрата	
	F	p	F	p	F	p
Инхибиција раста коренка <i>T. pratense</i>	80.77	***	9.19	**	49.18	***

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA), \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$ .

Статистички значајно веће вредности инхибиције коренка *T. pratense* показао је ризосферни супстрат *A. fruticosa* са депоније пепела ТЕНТ-А у односу на контролни супстрат са овог станишта ( $p < 0.05$ ). Разлике у инхибицији раста коренка између контролног и ризосферног супстрата *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре и са алувијалног наноса Велике Мораве (Багрдан) нису биле статистички значајне (ns) (Слика 34).



**Слика 34.** Инхибиција раста коренка индикаторске врсте *T. pratense* (IR%) у биотестовима са супстратом *A. fruticosa* на различитим стаништима. Co DelP – контролни супстрат из Делиблатске пешчаре, Af DelP – ризосферни супстрат *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре, Co TENT-A – контролни супстрат са депоније пепела ТЕНТ-А, Af TENT-A – ризосферни супстрат *A. fruticosa* са депоније пепела ТЕНТ-А, Co BGN – контролни супстрат са алувијалног наноса Велике Мораве (Багрдан), Rp BGN – ризосферни супстрат *A. fruticosa* са са алувијалног наноса Велике Мораве (Багрдан), ns – нема статистички значајних разлика

Резултати упоредне анализе инхибиторне активности супстрата *A. fruticosa* показали су да су разлике између контролног супстрата из Делиблатске пешчаре, у погледу инхибиције раста коренка *T. pratense*, без статистичке значајности (ns). Контролни супстрат са алувијалног наноса Велике Мораве (Багрдан) показао је статистички значајно већу инхибицију раста коренка *T. pratense* у односу на контролни супстрат из Делиблатске пешчаре и са депоније пепела ТЕНТ-А ( $p < 0.001$ ). Разлике између ризосферног супстрата *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре, депоније пепела ТЕНТ-А и алувијалног наноса Велике Мораве (Багрдан) нису биле статистички значајне (ns) (Табела 68).

**Табела 68.** Инхибиција раста коренка *T. pratense* у биотестовима са супстратом *A. fruticosa* (контролни/ризосферни) на различитим стаништима

Тип супстрата/Станиште	Делиблатска пешчара	Депонија пепела ТЕНТ-А	Алувијални нанос Велике Мораве (Багрдан)
Контролни супстрат	34.11 (2.246) a <sup>ns</sup>	31.16 (2.050)	50.630 (4.817) b <sup>***</sup> c <sup>***</sup>
Ризосферни супстрат	41.05 (4.599) a <sup>ns</sup> b <sup>ns</sup>	39.43 (4.045) c <sup>ns</sup>	42.31 (7.57)

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA) и Шефев тест (Scheffé's post-hoc test); резултати су представљени као M (SD), n=450; \*\*\*  $p < 0.001$ , ns – нема статистички значајних разлика

Инхибиција раста коренка *T. pratense* била је у статистички значајно позитивној **корелацији** са вредностима рН (KCl) ( $r=0.587$ ,  $p < 0.05$ ), садржајем С ( $r=0.532$ ,  $p < 0.05$ ), N ( $r=0.728$ ,  $p < 0.01$ ), као и садржајем  $P_2O_5$  ( $r=0.872$ ,  $p < 0.001$ ) и  $K_2O$  ( $r=0.859$ ,  $p < 0.01$ ) у ризосферном супстрату *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре. Статистички значајно негативна корелација утврђена је између вредности инхибиције раста коренка *T.*

*pratense* и концентрација Mn и Fe у супстрату ( $r=-0.711$ ,  $p<0.01$ ;  $r=-0.527$ ,  $p<0.05$ ), а позитивна са Cr и Zn ( $r=0.734$ ,  $p<0.01$ ;  $r=0.678$ ,  $p<0.01$ ). Вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* биле су у статистички значајно позитивној корелацији са садржајем ферулинске киселине, 3,5-DHBA и рутина у ризосферном супстрату *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре ( $r=0.816$ ,  $p<0.001$ ;  $r=0.949$ ,  $p<0.001$ ;  $r=0.905$ ,  $p<0.001$ ) (Прилог 5).

Вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* биле су у статистички значајно позитивној корелацији са C ( $r=0.887$ ,  $p<0.001$ ), N ( $r=0.608$ ,  $p<0.01$ ), C/N ( $r=0.878$ ,  $p<0.001$ ), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ( $r=0.551$ ,  $p<0.05$ ) и K<sub>2</sub>O ( $r=0.751$ ,  $p<0.001$ ) у ризосферном супстрату *A. fruticosa* са депоније пепела ТЕНТ-А. Такође, инхибиција раста коренка *T. pratense* позитивно је корелисала са Ni ( $r=0.684$ ,  $p<0.01$ ), Fe ( $r=0.783$ ,  $p<0.001$ ), Zn ( $r=0.554$ ,  $p<0.05$ ), Cr ( $r=0.691$ ,  $p<0.01$ ) и Cu ( $r=0.843$ ,  $p<0.001$ ). Такође, садржај 3-НВА и рутина у ризосферном супстрату *A. fruticosa* са депоније пепела ТЕНТ-А био је у статистички значајно позитивној корелацији са вредностима инхибиције раста коренка *T. pratense* ( $r=0.807$ ,  $p<0.001$ ;  $r=0.479$ ,  $p<0.05$ ) (Прилог 5).

На алувијалном наносу Велике Мораве (Багрдан) утврђене су статистички значајно негативне корелације између вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* и рН (H<sub>2</sub>O и KCl) у супстрату ( $r=-0.778$ ,  $p<0.001$ ;  $r=-0.922$ ,  $p<0.001$ ), као и садржаја C и N ( $r=-0.779$ ,  $p<0.001$ ;  $r=-0.857$ ,  $p<0.001$ ) у ризосферном супстрату *A. fruticosa*. Статистички значајно позитивне корелације имао је садржај P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O у односу на вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* ( $r=0.910$ ,  $p<0.001$ ;  $r=0.665$ ,  $p<0.01$ ). Вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* биле су у статистички значајно позитивној корелацији са садржајем Mn, Ni, Fe, Zn, Cr и Cu у супстрату ( $r=0.955$ ,  $p<0.001$ ;  $r=0.947$ ,  $p<0.001$ ;  $r=0.964$ ,  $p<0.001$ ;  $r=0.478$ ,  $p<0.05$ ,  $r=0.890$ ,  $p<0.001$ ;  $r=0.937$ ,  $p<0.001$ ). Инхибиција раста коренка *T. pratense* била је у статистички значајно негативној корелацији са садржајем 3,5-DHBA и рутина у ризосферном супстрату *A. fruticosa* са алувијалног наноса Велике Мораве (Багрдан) ( $r=-0.483$ ,  $p<0.05$ ;  $r=-0.967$ ,  $p<0.001$ ) (Прилог 5).

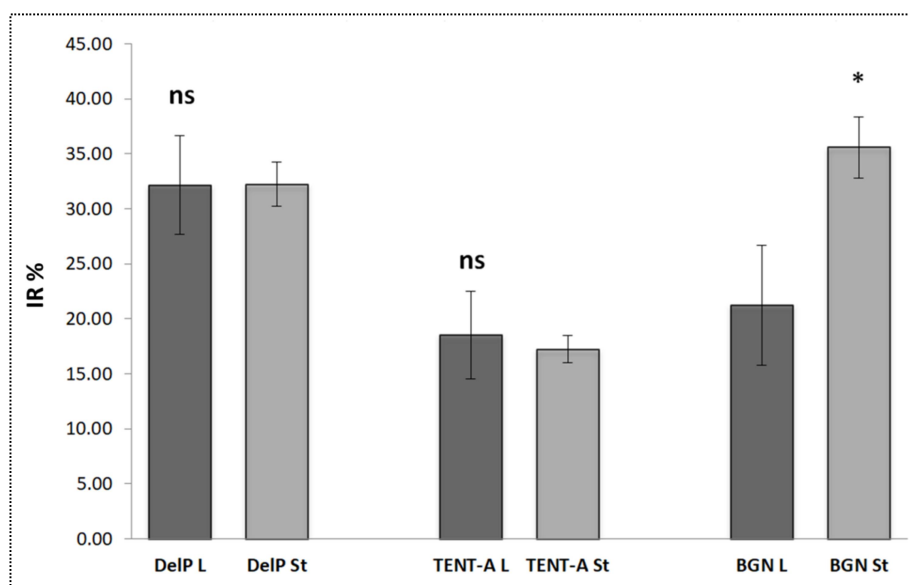
Резултати двофакторске анализе варијансе (factorial ANOVA) показали су да на вредност инхибиције раста коренка *T. pratense* статистички значајан утицај има станиште и тип биљног материјала ( $p<0.001$ ), при чему је утицај станишта израженији (Табела 69).

**Табела 69.** Утицај станишта и типа биљног материјала (лист/стеља) на варијабилност инхибиције раста коренка *T. pratense* у биотестовима код *A. fruticosa*

Параметар	Станиште		Тип биљног материјала		Станиште *	
	F	p	F	p	F	p
Инхибиција раста коренка <i>T. pratense</i>	203.43	***	20.32	***	1273.99	***

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA), \*\*\*  $p<0.001$

Разлике у инхибицији раста коренка *T. pratense* између **листова** и **стеље** *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре и са депоније пепела ТЕНТ-А нису биле статистички значајне (ns). Стеља *A. fruticosa* са станишта Багрдан показала је статистички значајно веће вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* у односу на листове ( $p<0.05$ ) (Слика 35).



**Слика 35.** Инхибиција раста коренка индикаторске врсте *T. pratense* (IR%) у биотестовима са листовима и стељом *A. fruticosa* на различитим стаништима. DelP L – листови *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре, DelP St – стеља *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре, TENT-A L – листови *A. fruticosa* са депоније пепела ТЕНТ-А, TENT-A St – стеља *A. fruticosa* са депоније пепела ТЕНТ-А, BGN L – листови *A. fruticosa* са алувијалног наноса Велике Мораве (Багрдан), BGN St – стеља *A. fruticosa* са алувијалног наноса Велике Мораве (Багрдан), \*  $p < 0.05$ , ns – нема статистички значајних разлика

Статистички значајно веће вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* показали су листови *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре у односу на листове *A. fruticosa* са депоније пепела ТЕНТ-А и алувијалног наноса Велике Мораве (Багрдан) ( $p < 0.05$ ). Разлике у инхибицији раста коренка индикаторске врсте код листова *A. fruticosa* са депоније пепела ТЕНТ-А и алувијалног наноса Велике Мораве (Багрдан) нису биле статистички значајне (ns). Стеља *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре и алувијалног наноса Велике Мораве (Багрдан) је показала је статистички значајно веће вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* у односу на стељу *A. fruticosa* са депоније пепела ТЕНТ-А ( $p < 0.001$ ). Разлике у вредностима инхибиције раста коренка *T. pratense* код стеље *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре и алувијалног наноса Велике Мораве (Багрдан) нису биле статистички значајне (ns) (Табела 70).

**Табела 70.** Инхибиција раста коренка *T. pratense* у биотестовима са биљним материјалом *A. fruticosa* (лист/стеља) на испитиваним стаништима

Тип биљног материјала	Делиблатска пешчара	Депонија пепела (ТЕНТ-А)	Алувијални нанос Велике Мораве (Багрдан)
Лист	32.16 (4.485) a* b*	18.49 (3.973) c <sup>ns</sup>	21.21 (5.474)
Стеља	32.21 (2.010) a*** b <sup>ns</sup>	17.23 (1.240)	35.59 (2.790) c***

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA) и Шефев тест (Scheffé's post-hoc test); резултати су представљени као M (SD), n=450; (a) Делиблатска пешчара – ТЕНТ-А, (b) Делиблатска пешчара – Велика Морав (Багрдан), (c) ТЕНТ-А – Велика Морав (Багрдан); \*\*  $p < 0.05$ , \*\*\*  $p < 0.001$ , ns – нема статистички значајних разлика.

На станишту Делиблатска пешчара, статистички значајно позитивне **корелације** имао је садржај Mn, Zn и Cu у листовима *A. fruticosa* и инхибиција раста коренка *T. pratense* ( $r=0.886$ ,  $p < 0.05$ ;  $r=0.935$ ,  $p < 0.01$ ;  $r=0.983$ ,  $p < 0.001$ ), док су негативне

корелације утврђене између инхибиције раста коренка *T. pratense* и садржаја Ni и Cr (-0.735,  $p < 0.05$ ;  $r = -0.969$ ,  $p < 0.01$ ). Статистички значајно позитивне корелације утврђене су између вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* и садржаја *n*-кумаринске киселине, ферулинске киселине и рутина у листовима *A. fruticosa* ( $r = 0.881$ ,  $p < 0.01$ ;  $r = 0.875$ ,  $p < 0.01$ ;  $r = 0.858$ ,  $p < 0.01$ ) (Прилог 6).

На депонији пепела ТЕНТ-А, инхибиција раста коренка *T. pratense* била је у статистички значајно позитивној корелацији са садржајем Mn, Zn и Cu у листовима *A. fruticosa* ( $r = 0.947$ ,  $p < 0.01$ ;  $r = 0.859$ ,  $p < 0.05$ ;  $r = 0.965$ ,  $p < 0.01$ ), а у негативној корелацији са садржајем Fe и Cr ( $r = -0.831$ ,  $p < 0.05$ ;  $r = -0.958$ ,  $p < 0.01$ ). Статистички значајно позитивне корелације утврђене су између вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* и садржаја 3,5-ДНВА, 3-НВА, *n*-кумаринске киселине, ферулинске киселине и рутина ( $r = 0.968$ ,  $p < 0.001$ ;  $r = 0.952$ ,  $p < 0.001$ ;  $r = 0.820$ ,  $p < 0.01$ ;  $r = 0.667$ ,  $p < 0.05$ ;  $r = 0.676$ ,  $p < 0.05$ ) (Прилог 6).

На алувијалном наносу Велике Мораве (Багрдан), инхибиција раста коренка била је у статистички значајно негативној корелацији са садржајем Mn и Zn у листовима *A. fruticosa* ( $r = -0.800$ ,  $p < 0.05$ ;  $r = -0.682$ ,  $p < 0.05$ ), а у позитивној корелацији са садржајем Cu ( $r = 0.733$ ,  $p < 0.05$ ). Такође, инхибиција раста коренка била је у статистички значајно негативној корелацији са садржајем *n*-кумаринске и ферулинске киселине у листовима *A. fruticosa* са алувијалног наноса Велике Мораве (Багрдан) ( $r = -0.989$ ,  $p < 0.001$ ;  $r = -0.974$ ,  $p < 0.001$ ) (Прилог 6).

#### 5.6.4. Упоредна анализа инхибиторне активности испитиваних врста биљака

Резултати двофакторске анализе варијансе (factorial ANOVA) указују да на варијабилност инхибиције раста коренка *T. pratense* у биотестовима са супстратом статистички значајан утицај има станиште ( $p < 0.01$ ) и врста биљке ( $p < 0.001$ ), при чему је утицај врсте биљке израженији (Табела 71).

**Табела 71.** Утицај станишта и врсте биљке на варијабилност инхибиције раста коренка *T. pratense* код ризосферног супстрата испитиваних биљних врста

Параметар	Станиште		Врста биљке		Станиште * Врста биљке	
	F	p	F	p	F	p
Инхибиција раста коренка <i>T. pratense</i>	11.77	**	31.33	***	31.063	***

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA), \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$

Резултати упоредне анализе инхибиторне активности код супстрата изабраних врста приказани су у Табели 72. Статистички значајно веће вредности инхибиције раста коренка индикаторске врсте показао је ризосферни супстрат *A. altissima* у односу на *R. pseudoacacia* и *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре ( $p < 0.01$ ,  $p < 0.05$ ). Такође, веће вредности инхибиције раста *T. pratense* показао је ризосферни супстрат *A. fruticosa* у односу на *R. pseudoacacia* ( $p < 0.05$ ). На депонији пепела ТЕНТ-А је утврђена статистички значајно већа инхибиција раста коренка *T. pratense* код ризосферног супстрата *A. fruticosa* и *A. altissima* у односу на *R. pseudoacacia* ( $p < 0.05$ ). Разлике у инхибицији раста коренка *T. pratense* код ризосферног супстрата *A. altissima* и *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре нису биле статистички значајне (ns).

**Табела 72.** Упоредна анализа инхибиције раста коренка *T. pratense* код ризосферног супстрата испитиваних врста биљака на различитим стаништима

Параметар/врста биљке	<i>R. pseudoacacia</i>	<i>A. altissima</i>	<i>A. fruticosa</i>
	<b>Делиблатска пешчара</b>		
<b>Инхибиција раста коренка, %</b>	29.02 (4.942)	63.293 (5.314) a** c*	41.053 (4.599) b*
	<b>Депонија пепела (ТЕНТ-А)</b>		
	32.50 (3.045)	37.92 (3.385) a* c <sup>ns</sup>	39.43 (3.025) b*

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA) и Шефев тест (Scheffé's post-hoc test); резултати су представљени као М (SD), n=450; *R. pseudoacacia* – *A. altissima*; (b) *R. pseudoacacia* – *A. fruticosa*; (c) *A. altissima* – *A. fruticosa*; \* p<0.05, \*\* p<0.01; ns – нема статистички значајних разлика

Резултати двофакторске анализе варијансе (factorial ANOVA) показали су да на инхибицију раста коренка *T. pratense* код **листова** и **стеље** испитиваних врста биљака статистички значајан утицај има врста биљке (p<0.001) у односу на станиште, чији утицај није био статистички значајан (ns) (Табела 73).

**Табела 73.** Утицај станишта и врсте биљке на варијабилност инхибиције раста коренка *T. pratense* код листова и стеље испитиваних биљних врста

Параметар	Лист					
	Станиште		Врста биљке		Станиште * Врста биљке	
<b>Инхибиција раста коренка <i>T. pratense</i></b>	F	p	F	P	F	p
		3.43	ns	<b>12.22</b>	***	6.43
	<b>Стеља</b>					
	F	p	F	p	F	p
	1.406	ns	<b>160.63</b>	***	110.475	***

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA), \*\* p<0.01, \*\*\* p<0.001, ns – нема статистички значајних разлика

Резултати упоредне анализе вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* код листова и стеље испитиваних врста биљака из Делиблатске пешчаре и депоније пепела ТЕНТ-А приказани су у Табели 74. Разлике у инхибицији раста коренка *T. pratense* код листова испитиваних врста биљака из Делиблатске пешчаре нису биле статистички значајне (ns). Међутим, статистички значајно веће вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* показала је стеља *A. altissima* и *A. fruticosa* у односу на *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре (p<0.001). Разлике у инхибицији раста коренка *T. pratense* код стеље *A. altissima* и *A. fruticosa* нису биле статистички значајне (ns).

На депонији пепела ТЕНТ-А, статистички значајно веће вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* су забележени у листовима *A. altissima* у односу на *R. pseudoacacia* и *A. fruticosa* (p<0.001). Такође, листови *R. pseudoacacia* показали су статистички значајно веће вредности инхибиције раста коренка индикаторске врсте у односу на *A. fruticosa* (p<0.001). Стеља *A. altissima* са станишта ТЕНТ-А показала је статистички значајно веће вредности инхибиције *T. pratense* у односу на стељу *R. pseudoacacia* и *A. fruticosa* (p<0.001). Разлике у инхибицији раста коренка индикаторске врсте између *R. pseudoacacia* и *A. fruticosa* нису биле статистички значајне (ns).



**Табела 74.** Упоредна анализа инхибиције раста коренка *T. pratense* код листова и стеље испитиваних врста биљака на различитим стаништима

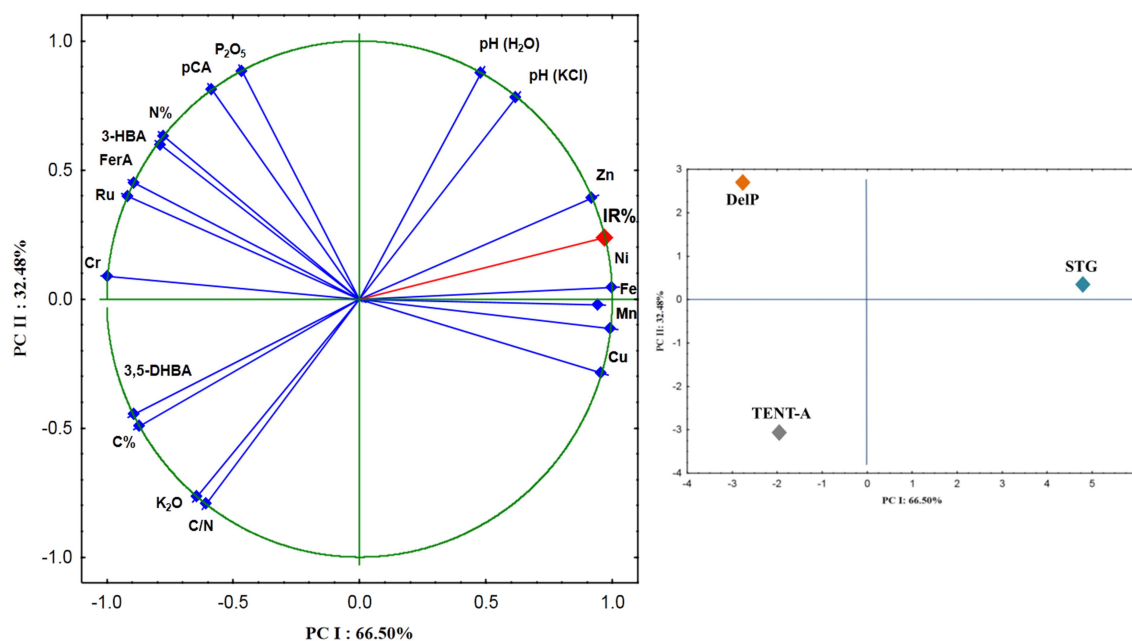
Параметар/врста биљке	<i>R. pseudoacacia</i>	<i>A. altissima</i>	<i>A. fruticosa</i>
Лист	<b>Делиблатска пешчара</b>		
	36.79 (8.045) a <sup>ns</sup>	36.59 (3.91) b <sup>ns</sup> c <sup>ns</sup>	32.16 (4.485)
	<b>Депонија пепела (ГЕНТ-А)</b>		
	26.98 (5.703) b <sup>***</sup>	44.29 (8.636) a <sup>***</sup> c <sup>***</sup>	18.49 (3.973)
Стеља	<b>Делиблатска пешчара</b>		
	20.12 (1.240)	29.214 (2.140) a <sup>***</sup> c <sup>ns</sup>	32.21 (2.010) b <sup>***</sup>
	<b>Депонија пепела (ГЕНТ-А)</b>		
	21.33 (1.110) b <sup>ns</sup>	40.36 (2.980) a <sup>***</sup> c <sup>***</sup>	17.23 (1.240)

двофакторска ANOVA (factorial ANOVA) и Шефеов тест (Scheffé's post-hoc test); резултати су представљени као М (SD), n=450; *R. pseudoacacia* – *A. altissima*; (b) *R. pseudoacacia* – *A. fruticosa*; (c) *A. altissima* – *A. fruticosa*; \*\*\* p<0.001; ns – нема статистички значајних разлика

## 5.7. Анализа главних компоненти супстрата, листова и стеље испитиваних врста биљака

### 5.7.1. Анализа главних компоненти супстрата *Robinia pseudoacacia*

Резултати анализе главних компоненти (PCA) хемијских карактеристика контролног супстрата *R. pseudoacacia*, садржаја хемијских елемената, садржаја фенолних једињења као и инхибиције раста коренка *T. pratense* приказана је на Слици 36. Највише информација о тоталној варијабилности објашњавају PC I оса (66.50%) и PC II оса (32.48%). Ове две осе објашњавају 99.98% укупне варијабилности и коришћене су у даљој анализи.



**Слика 36.** Анализа главних компоненти (PCA) различитих варијабли у контролном супстрату *R. pseudoacacia* на различитим стаништима. pH (H<sub>2</sub>O) – активна киселост супстрата, pH (KCl) – супституциона киселост супстрата, C % - укупан садржај угљеника, N % - укупан садржај азота, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – садржај доступних форми фосфора, K<sub>2</sub>O – садржај доступних форми калијума, Cr – укупан садржај хрома, Cu – укупан садржај бабра, Fe – укупан садржај гвожђа, Mn – укупан садржај мангана, Ni – укупан садржај никла, Zn – укупан садржај цинка, p-CA – *n*-кумаринска киселина, 3-HBA – 3-хидроксибензојева киселина, 3,5-DHBA – 3,5-дихидроксибензојева киселина, FerA – ферулинска киселина, Ru – ругин, IR% - инхибиција раста коренка индикаторске врсте *Trifolium pratense* L, TENT-A – контролни супстрат са депоније пепела Термоелектране Никола Тесла – А (ТЕНТ-А), DelP - контролни супстрат из Делиблатске пешчаре, STG - контролни супстрат са јаловишта азбеста Страгари

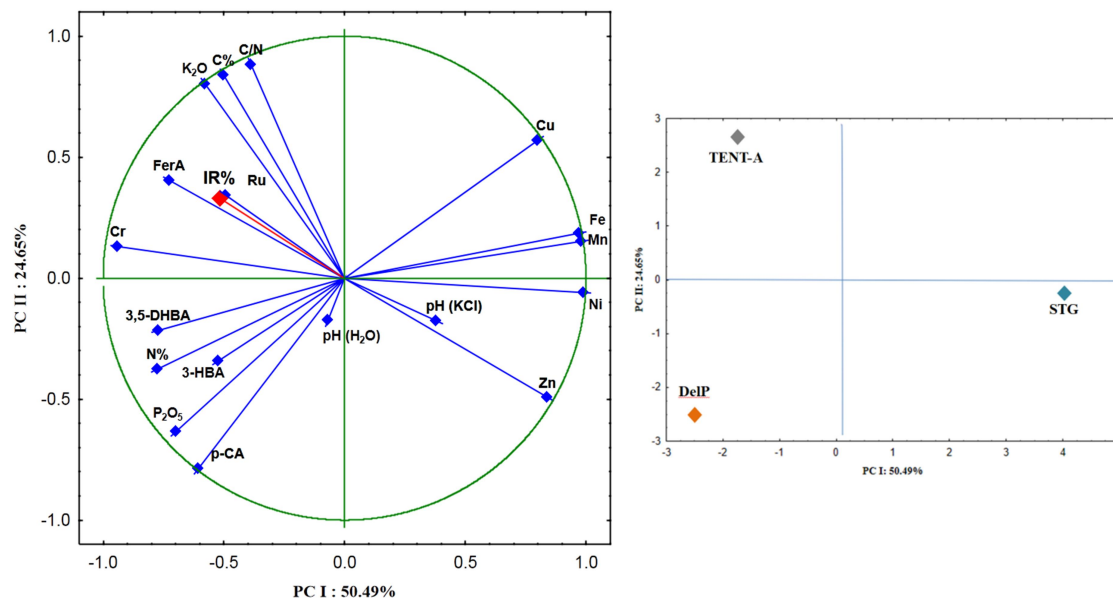
Првој осе (PC I) највише доприносе променљиве Ni (0.998), Mn (0.992), Fe (0.942), Zn (0.918) и Cu (0.957), Cr (-0.994) и инхибиција раста коренка *T. pratense* (-0.969), као и параметри 3,5-DHBA (-0.890), ферулинска киселина (-0.890), C (-0.869), N (-0.787), C/N (-0.607) и K<sub>2</sub>O (-0.643). Наведени параметри највише доприносе раздвајању три испитивана станишта. Видљиво је раздвајање јаловишта азбеста Страгари у позитивном сегменту прве осе и станишта Делиблатска пешчара и депоније пепела ТЕНТ-А у негативном сегменту прве осе.

Другој осе (PC II) највише доприносе променљиве pH (H<sub>2</sub>O) и pH (KCl) (0.876, 0.782), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, *n*-кумаринска киселина (0.810), 3-HBA (0.631), K<sub>2</sub>O (-0.765) и C/N (-0.793).

Јасно је раздвајање станишта Делиблатска пешчара и јаловишта азбеста Страгари у позитивном сегменту друге осе и депоније пепела ТЕНТ-А у негативном сегменту ове осе.

Анализа главних компоненти указује да се контролни супстрат *R. pseudoacacia* са јаловишта азбеста Страгари карактерише високим вредностима Cu, Fe, Mn, Ni и Zn, вредностима pH (H<sub>2</sub>O) и pH (KCl), као и инхибицијом раста коренка *T. pratense*, док се контролни супстрат из Делиблатске пешчаре одликује високим садржајем азота (N%), доступних форми фосфора (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), укупним садржајем Cr, као и високим концентрацијама 3-НВА, *n*-кумаринске киселине, ферулинске киселине и рутина. Контролни супстрат са депоније пепела ТЕНТ-А карактерише се високим вредностима C, C/N, K<sub>2</sub>O и 3,5-DHBA.

Резултати анализе главних компоненти (PCA) хемијских карактеристика **ризосферног супстрата** *R. pseudoacacia*, садржаја хемијских елемената, садржаја фенолних једињења као и инхибиције раста коренка *T. pratense* приказана је на Слици 37. Највише информација о тоталној варијабилности објашњава PC I оса (50.43%), затим PC II оса (24.64%), па PC III оса (13.95). Прве две осе објашњавају 75.14% укупне варијабилности и коришћене су у даљој анализи.



**Слика 37.** Анализа главних компоненти (PCA) различитих варијабли у ризосферном супстрату *R. pseudoacacia* на различитим стаништима. pH (H<sub>2</sub>O) – активна киселост супстрата, pH (KCl) – супституциона киселост супстрата, C % - укупан садржај угљеника, N % - укупан садржај азота, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – садржај доступних форми фосфора, K<sub>2</sub>O – садржај доступних форми калијума, Cr – укупан садржај хрома, Cu – укупан садржај бакра, Fe – укупан садржај гвожђа, Mn – укупан садржај мангана, Ni – укупан садржај никла, Zn – укупан садржај цинка, p-CA – *n*-кумаринска киселина, 3-НВА – 3-хидроксибензојева киселина, 3,5-DHBA – 3,5-дихидроксибензојева киселина, FerA – ферулинска киселина, Ru – рутин, IR% - инхибиција раста коренка индикаторске врсте *Trifolium pratense* L, TENT-A – ризосферни супстрат *R. pseudoacacia* са депоније пепела Термоелектране Никола Тесла – А (ТЕНТ-А), DelP - ризосферни супстрат *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре, STG - ризосферни супстрат *R. pseudoacacia* са јаловишта азбеста Страгари

Првој осе (PC I) највише доприносе променљиве Ni (0.988), Mn (0.980), Fe (0.972), Zn (0.839), Cu (0.800), као и Cr (-0.938), 3,5-DHBA (-0.771), ферулинска киселина (-0.726), N (-0.775), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (-0.698) и инхибиција раста коренка *T. pratense* (-0.518). Видљиво је раздвајање јаловишта азбеста Страгари у позитивном сегменту прве осе (PC I) и станишта Делиблатска пешчара и депоније пепела ТЕНТ-А у негативном

сегменту прве осе (РС I). Раздвајању ова три станишта највише доприносе променљиве Ni, Mn, Fe, Cr као и 3,5-DHBA, ферулинска киселина и укупан садржај азота (N).

Другој осе (РС II) највише доприносе променљиве C (0.839), C/N (0.881) и K<sub>2</sub>O (0.801). Уочљиво је раздвајање депоније пепела ТЕНТ-А у позитивном сегменту друге осе (РС II) и Делиблатске пешчаре и јаловишта азбеста Страгари у негативном сегменту друге осе (РС II).

Анализа главних компоненти указује да се ризосферни супстрат *R. pseudoacacia* станишта Страгари карактерише високим садржајем Cu, Fe, Mn, Ni и Zn, као и вредностима рН (KCl) док се ризосферни супстрат *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре одликује високим вредностима рН (H<sub>2</sub>O), високим садржајем азота (N%), доступних форми фосфора (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), као и садржајем 3-НВА, 3,5-DHBA. Ризосферни супстрат са депоније пепела ТЕНТ-А одликује се високим вредностима угљеника (C), односом угљеник/азот (C/N), као и доступним формама калијума (K<sub>2</sub>O) и садржајем хрома (Cr). Такође, ово станиште одликује и висок садржај ферулинске киселине и рутина, као и вредност инхибиције раста коренка индикаторске врсте *T. pratense*.

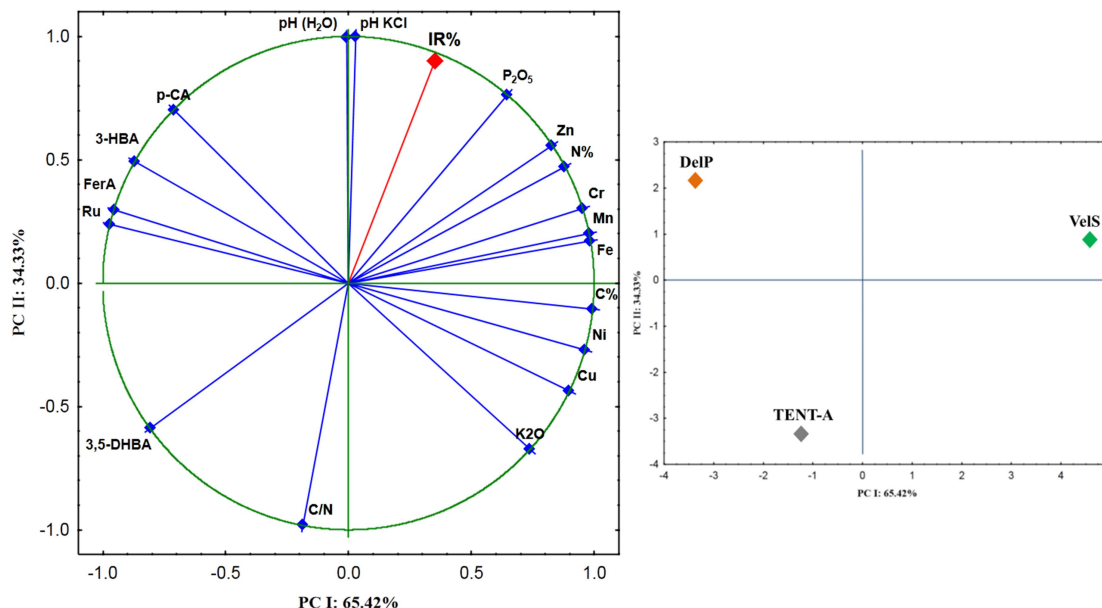
### 5.7.2. Анализа главних компоненти супстрата *Ailanthus altissima*

Резултати анализе главних компоненти (РСА) хемијских карактеристика контролног супстрата *A. altissima*, садржаја хемијских елемената, садржаја фенолних једињења као и инхибиције раста коренка *T. pratense* код контролног супстрата *A. altissima* на различитим стаништима приказани су на Слици 38. Највише информација о укупној варијабилности даје РС I оса (65.42%) и РС II оса (34.33%). Прве две осе објашњавају 99.75% укупне варијабилности и коришћене су у даљој анализи.

На првој осе (РС I) највише оптерећења имају параметри C (0.994), N (0.879), Ni (0.962), Mn (0.979), Fe (0.984), Cr (0.953), Zn (0.828) и Cu (0.897). Видљиво је раздвајање кречњачког станишта Крш – Велики Шењ у позитивном сегменту прве осе (РС I) и станишта Делиблатска пешчара и депоније пепела ТЕНТ-А у негативном сегменту прве осе (РС I). Наведени хемијски елементи највише доприносе раздвајању различитих станишта.

На другој осе (РС II) највећа оптерећења имају променљиве рН (H<sub>2</sub>O) и рН (KCl) (0.998, 0.995), *n*-кумаринска киселина (0.702), C/N (-0.980), као и вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* (0.902). Јасно је раздвајање станишта Делиблатска пешчара и кречњачког станишта Крш - Велики Шењ у позитивном сегменту ове осе и депоније пепела ТЕНТ-А у негативном сегменту ове осе.

На основу РСА анализе уочава се да кречњачко станиште Крш – Велики Шењ карактерише висок садржај C, N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, Mn, Ni, Fe, Cr, Cu и Zn у контролном супстрату *A. altissima*, као и високе вредности рН (H<sub>2</sub>O) и рН (KCl). Контролни супстрат из Делиблатске пешчаре се одликује високим вредностима фенолних једињења (*n*-кумаринска киселина, 3-НВА, ферулинска киселина и рутин), док је депонија пепела ТЕНТ-А карактерисана високим вредностима C/N и високом концентрацијом 3,5-DHBA. Вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* највише су код контролног супстрата кречњачког станишта Крш – Велики Шењ.

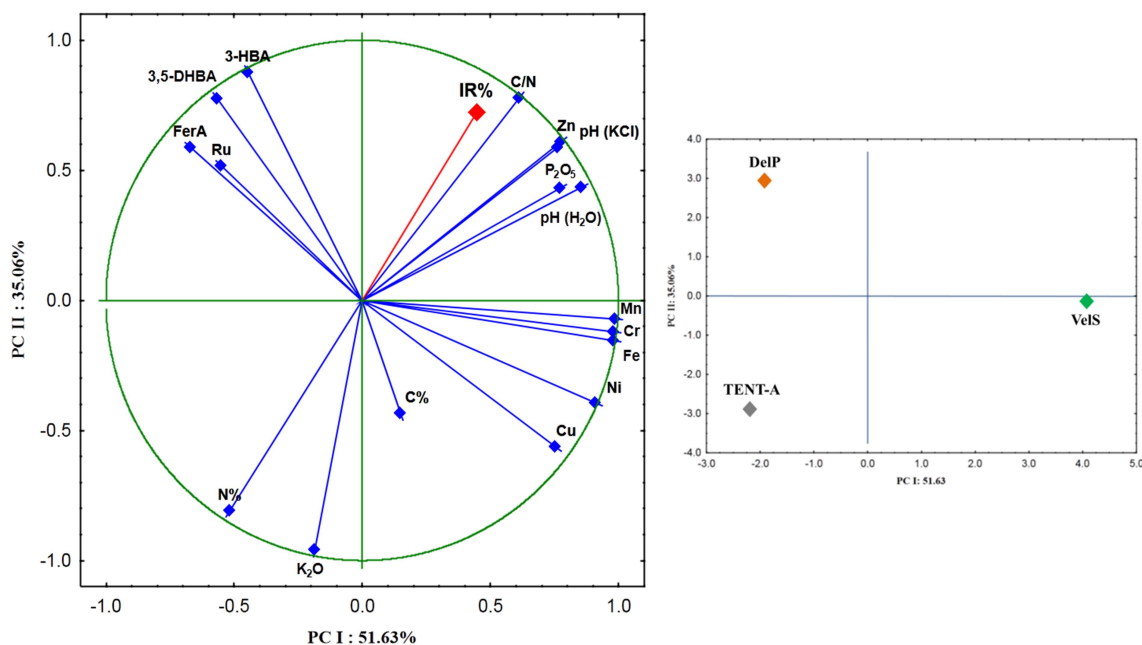


**Слика 38.** Анализа главних компоненти (PCA) различитих варијабли у контролном супстрату *A. altissima* на различитим стаништима. pH (H<sub>2</sub>O) – активна киселост супстрата, pH (KCl) – супституциона киселост супстрата, C % – укупан садржај угљеника, N % - укупан садржај азота, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – садржај доступних форми фосфора, K<sub>2</sub>O – садржај доступних форми калијума, Cr – укупан садржај хрома, Cu – укупан садржај бакра, Fe – укупан садржај гвожђа, Mn – укупан садржај мангана, Ni – укупан садржај никла, Zn – укупан садржај цинка, p-CA – *n*-кумаринска киселина, 3-НВА – 3-хидроксибензојева киселина, 3,5-DHBA – 3,5-дихидроксибензојева киселина, FeA – ферулинска киселина, Ru – рутин, IR% - инхибиција раста коренка индикаторске врсте *Trifolium pratense* L, TENT-A – контролни супстрат *A. altissima* са депоније пепела Термоелектране Никола Тесла – А (ТЕНТ-А), DelP - контролни супстрат *A. altissima* из Делиблатске пешчаре, VelS - контролни супстрат *A. altissima* са кречњачког станишта Крш – Велики Шењ

Резултати анализе главних компоненти (PCA) хемијских карактеристика **ризосферног супстрата** *A. altissima*, садржаја хемијских елемената, садржаја фенолних једињења као и инхибиције раста коренка *T. pratense* приказани су на Слици 39. Највише информација о укупној варијабилности објашњава PC I оса (51.63%), затим PC II оса (35.06%), па PC III оса (6.13%). Прве две осе објашњавају 86.68% укупне варијабилности и коришћене су у даљој анализи.

Највећи допринос на првој оси (PC I) имају променљиве Ni (0.909), Mn (0.987), Fe (0.981) и Cr (-0.979), као и pH (H<sub>2</sub>O) (0.854) и P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0.771). Ови параметри највише доприносе раздвајању три испитивана станишта. Видљиво је раздвајање кречњачког станишта Крш – Велики Шењ у позитивном сегменту прве осе (PC I) и Делиблатске пешчаре и депоније пепела ТЕНТ-А у негативном сегменту прве осе (PC I).

На другој оси (PC II) највеће доприносе имају параметри C/N (0.777), 3-НВА (0.877), 3,5-DHBA (0.776) и инхибиција раста коренка *T. pratense* (0.722), као и N (-0.808) и K<sub>2</sub>O (-0.960). Уочљиво је раздвајање станишта Делиблатска пешчара у позитивном сегменту друге осе (PC II) и депоније пепела ТЕНТ-А у негативном сегменту друге осе (PC II), док се кречњачко станиште Крш – Велики Шењ налази у самој средини осе (вредност приближна 0). Вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* подједнако су високе на станишту Делиблатска пешчара и кречњачком станишту Крш – Велики Шењ.



**Слика 39.** Анализа главних компоненти (PCA) различитих варијабли у ризосферном супстрату *A. altissima* на различитим стаништима. pH (H<sub>2</sub>O) – активна киселост супстрата, pH (KCl) – супституциона киселост супстрата, C % – укупан садржај угљеника, N % - укупан садржај азота, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – садржај доступних форми фосфора, K<sub>2</sub>O – садржај доступних форми калијума, Cr – укупан садржај хрома, Cu – укупан садржај бабра, Fe – укупан садржај гвожђа, Mn – укупан садржај мангана, Ni – укупан садржај никла, Zn – укупан садржај цинка, p-CA – *n*-кумаринска киселина, 3-НВА – 3-хидроксибензојева киселина, 3,5-DHBA – 3,5-дихидроксибензојева киселина, FerA – ферулинска киселина, Ru – рутин, IR% - инхибиција раста коренка индикаторске врсте *Trifolium pratense* L, TENT-A – ризосферни супстрат *A. altissima* са депоније пепела Термоелектране Никола Тесла – А (ТЕНТ-А), DelP - ризосферни супстрат *A. altissima* из Делиблатске пешчаре, VelS - ризосферни супстрат *A. altissima* са кречњачког станишта Крш – Велики Шењ

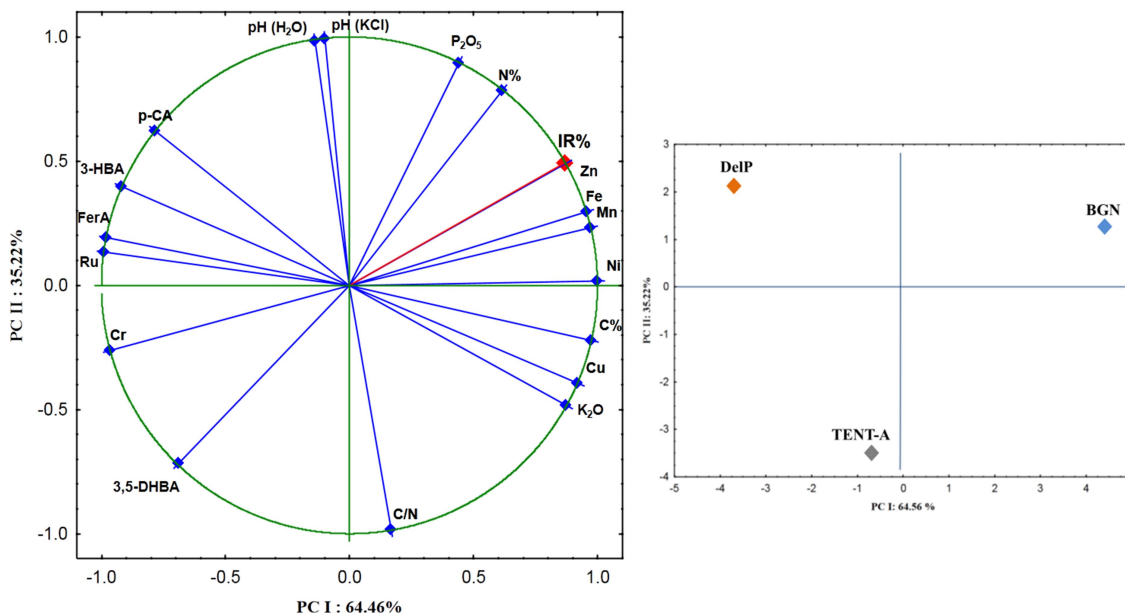
PCA анализа указује да се кречњачко станиште Крш – Велики Шењ карактерише високим садржајем Mn, Ni, Fe, Cr, Cu и Zn у ризосферном супстрату *A. altissima*, као и високим вредностима pH (H<sub>2</sub>O) и pH (KCl), C/N и садржајем P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Станиште Делиблатска пешчара се карактерише високим вредностима фенолних једињења у ризосферном супстрату *A. altissima* (3-НВА, 3,5-DHBA, ферулинска киселина и рутин), док је депонија пепела ТЕНТ-А издваја високим вредностима азота (N) и доступних форми фосфора (K<sub>2</sub>O) у ризосферном супстрату *A. altissima*. Високе вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* одликују и ризосферни супстрат *A. altissima* са кречњачког станишта Крш – Велики Шењ и из Делиблатске пешчаре.

### 5.7.3. Анализа главних компоненти супстрата *Amorpha fruticosa*

Резултати анализе главних компоненти (PCA) хемијских карактеристика контролног супстрата код *A. fruticosa*, садржаја хемијских елемената, садржаја фенолних једињења као и инхибиције раста коренка *T. pratense* приказани су на Слици 40. Највише информација о укупној варијабилности објашњава PC I оса (64.46%) и PC II оса (35.22%). Прве две осе објашњавају 99.68% укупне варијабилности и коришћене су у даљој анализи.

Највећи допринос на првој оси (PC I) имају променљиве C (0.974), N (0.614), K<sub>2</sub>O (0.873), Mn (0.972), Ni (0.999), Fe (0.954), Zn (0.870) и Cu (0.918), инхибиција раста

коренка *T. pratense* (0.868), Cr (-0.964), *n*-кумаринска киселина (-0.783), 3-НВА (-0.917), 3,5-DHBA (-0.687), ферулинска киселина (-0.981) и рутин (-0.990). Уочљиво је раздвајање алувијалног наноса Велике Мораве (Баградан) у позитивном сегменту прве осе (PC I) и Делиблатске пешчаре и депоније пепела ТЕНТ-А у негативном сегменту прве осе (PC I).



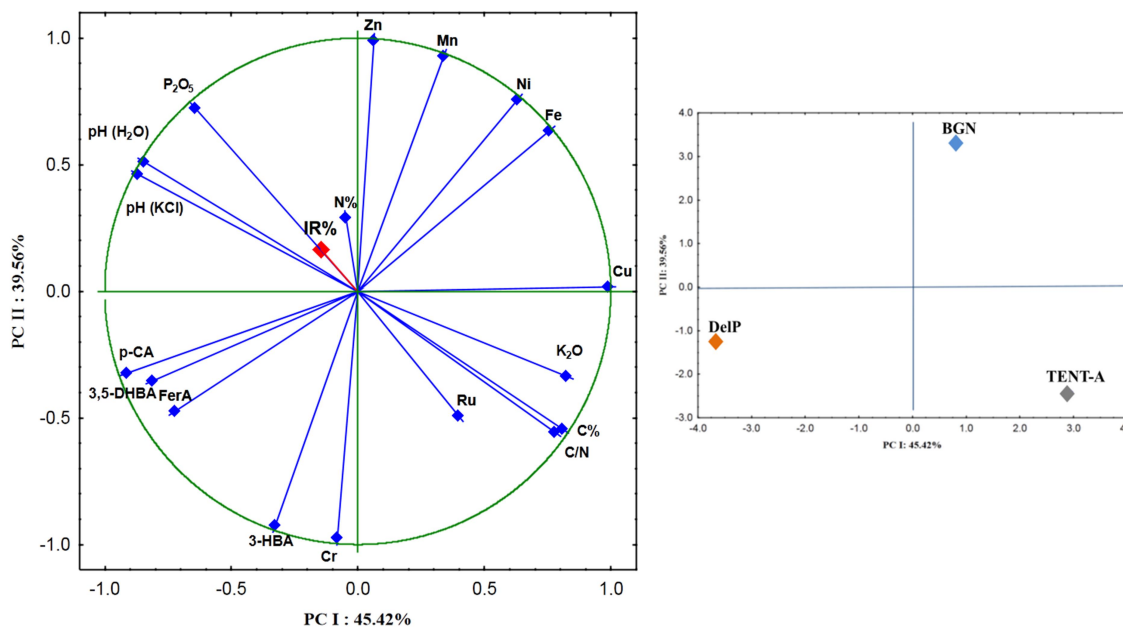
**Слика 40.** Анализа главних компоненти (PCA) различитих варијабли у контролном супстрату *A. fruticosa* на различитим стаништима. pH (H<sub>2</sub>O) – активна киселост супстрата, pH (KCl) – супституциона киселост супстрата, C % – укупан садржај угљеника, N % – укупан садржај азота, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – садржај доступних форми фосфора, K<sub>2</sub>O – садржај доступних форми калијума, Cr – укупан садржај хрома, Cu – укупан садржај бакра, Fe – укупан садржај гвожђа, Mn – укупан садржај мангана, Ni – укупан садржај никла, Zn – укупан садржај цинка, p-CA – *n*-кумаринска киселина, 3-НВА – 3-хидроксибензојева киселина, 3,5-DHBA – 3,5-дихидроксибензојева киселина, FerA – ферулинска киселина, Ru – рутин, IR% - инхибиција раста коренка индикаторске врсте *Trifolium pratense* L., DelP – контролни супстрат из Делиблатске пешчаре, TENT-A – контролни супстрат са депоније пепела Термоелектране Никола Тесла – А (ТЕНТ-А), BGN - контролни супстрат са алувијалног наноса Велике Мораве (Баградан)

На другој оси (PC II) највеће доприносе имају променљиве pH (H<sub>2</sub>O) и pH (KCl) (0.994, 0.984), N (0.783), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0.895), C/N (-0.983) и 3,5-DHBA (-0.715). Видљиво је раздвајање Делиблатске пешчаре и алувијалног наноса Велике Мораве (Баградан) у позитивном сегменту друге осе (PC II) и депоније пепела ТЕНТ-А у негативном сегменту друге осе (PC II).

Контролни супстрат са алувијалног наноса Велике Мораве (Баградан) највише одликују високе вредности испитиваних хемијских елемената (Mn, Ni, Fe, Cu и Zn), садржај C, N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O, као и високе вредности pH (H<sub>2</sub>O) и pH (KCl). Такође, контролни супстрат са алувијалног наноса Велике Мораве (Баградан) издваја се највећим вредностима инхибиције раста коренка *T. pratense*. Контролни супстрат из Делиблатске пешчаре се издваја високим садржајем фенолних једињења (3-НВА, ферулинске киселине, *n*-кумаринске киселине и рутина) а контролни супстрат са депоније пепела ТЕНТ-А високим вредностима C/N и садржајем 3,5-DHBA.

Анализа главних компоненти (PCA) хемијских карактеристика **ризосферног супстрата** *A. fruticosa*, садржаја хемијских елемената, садржаја фенолних једињења као и инхибиције раста коренка *T. pratense* приказана је на Слици 41. Највише информација о укупној варијабилности објашњава PC I оса (45.42%), затим PC II оса (39.56%), па PC

III оса (5.73%). Прве две осе објашњавају 84.97% укупне варијабилности и коришћене су у даљој анализи.



**Слика 41.** Анализа главних компоненти (PCA) различитих варијабли у ризосферном супстрату *A. fruticosa* на различитим стаништима. pH (H<sub>2</sub>O) – активна киселост супстрата, pH (KCl) – супституциона киселост супстрата, C % – укупан садржај угљеника, N % – укупан садржај азота, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – садржај доступних форми фосфора, K<sub>2</sub>O – садржај доступних форми калијума, Cr – укупан садржај хрома, Cu – укупан садржај бакра, Fe – укупан садржај гвожђа, Mn – укупан садржај мангана, Ni – укупан садржај никла, Zn – укупан садржај цинка, p-CA – *n*-кумаринска киселина, 3-НВА – 3-хидроксибензојева киселина, 3,5-DHBA – 3,5-дихидроксибензојева киселина, FerA – ферулинска киселина, Ru – рутин, IR% – инхибиција раста коренка индикаторске врсте *Trifolium pratense* L, DelP – ризосферни супстрат *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре, TENT-A – ризосферни супстрат *A. fruticosa* са депоније пепела Термоелектране Никола Тесла – А (ТЕНТ-А), BGN – ризосферни супстрат *A. altissima* са алувијалног наноса Велике Мораве (Багрдан)

Највећи допринос на првој оси (PC I) имале су променљиве C (0.809), C/N (0.777), K<sub>2</sub>O (0.826), Fe (0.756), Cu (0.989) као и pH (H<sub>2</sub>O) (-0.845), pH (KCl) (-0.870), *n*-кумаринска киселина (-0.912), 3,5-DHBA (-0.811) и ферулинска киселина (-0.721). Наведени параметри највише доприносе раздвајању три испитивана станишта. Уочљиво је раздвајање алувијалног наноса Велике Мораве (Багрдан) и депоније пепела ТЕНТ-А у позитивном сегменту прве осе (PC I) и Делиблатске пешчаре у негативном сегменту прве осе (PC I).

На другој оси (PC II) највеће позитивно оптерећење су имале променљиве P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0.724), Mn (0.930), Ni (0.756), Zn (0.989), а негативно Cr (-0.975) и 3-НВА (-0.924). У позитивном сегменту друге осе издваја се алувијални нанос Велике Мораве (Багрдан), док се у негативном сегменту друге осе издаваја Делиблатска пешчара и депонија пепела ТЕНТ-А.

Анализа главних компоненти показује да се ризосферни супстрат *A. fruticosa* са алувијалног наноса Велике Мораве (Багрдан) одликује високим вредностима pH (H<sub>2</sub>O), pH (KCl), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Zn, Mn, Ni, Fe и Cu, као и вредностима инхибиције раста коренка *T. pratense*. Ризосферни супстрат *A. fruticosa* са депоније пепела ТЕНТ-А карактерише се високим вредностима C, C/N, K<sub>2</sub>O и рутина, док се станиште Делиблатска пешчара

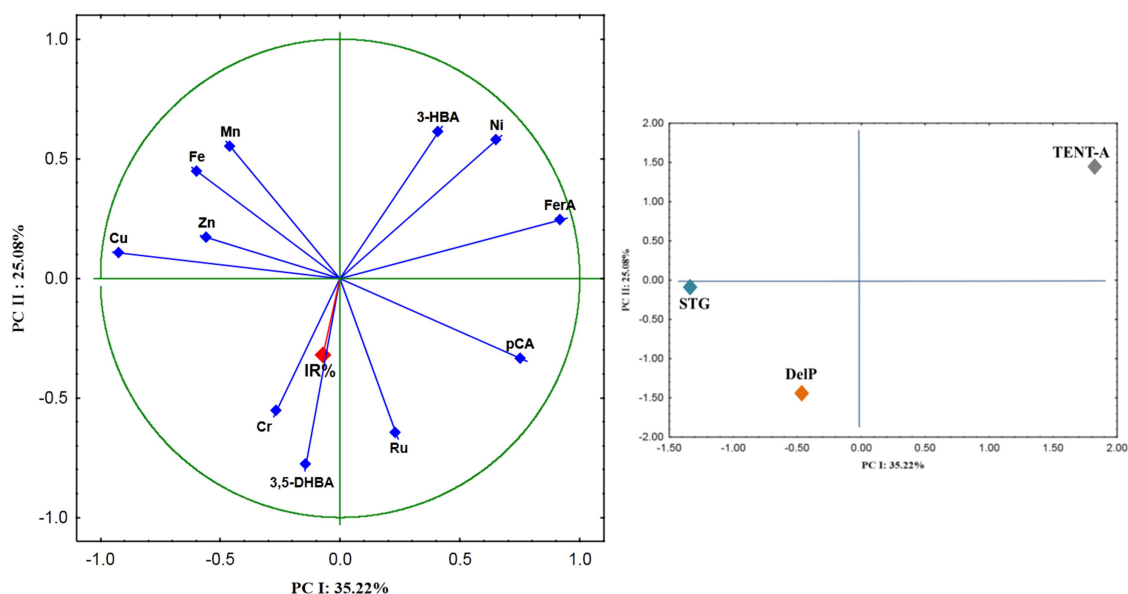


издваја високим вредностима Cr, 3-НВА, 3,5-ДНВА, *n*-кумаринске киселине и ферулинске киселине присутне у ризосферном супстрату *A. fruticosa*.

#### 5.7.4. Анализа главних компоненти ЛИСТОВА И СТЕЉЕ *Robinia pseudoacacia*

Анализа главних компоненти садржаја хемијских елемената и садржаја фенолних једињења у листовима *R. pseudoacacia*, као и инхибиције раста коренка *T. pratense* у биотестовима са листовима *R. pseudoacacia* са три различита станишта приказани су на Слици 42. Највише информација о укупној варијабилности објашњава РС I оса (32.22%), затим РС II оса (25.08%), па РС III оса (23.19). Прве две осе објашњавају 60.30% укупне варијабилности и коришћене су у даљој анализи.

Првој оси (РС I) највише доприносе променљиве Ni, *n*-кумаринска киселина и ферулинска киселина (0.653, 0.753, 0.918), као и Fe, Zn и Cu (-0.595, -0.556, -0.923). Јасно је издвајање депоније пепела ТЕНТ-А у позитивном сегменту прве осе и Делиблатске пешчаре и јаловишта азбеста Страгари у негативном сегменту прве осе.



**Слика 42.** Анализа главних компоненти (PCA) различитих варијабли у листовима *R. pseudoacacia* на различитим стаништима. Cr – садржај хрома, Cu – садржај бакра, Fe – садржај гвожђа, Mn – садржај мангана, Ni – садржај никла, Zn – садржај цинка, *p*-СА – *n*-кумаринска киселина, 3-НВА – 3-хидроксибензојева киселина, 3,5-ДНВА – 3,5-дихидроксибензојева киселина, FerA – ферулинска киселина, Ru – рутин, IR% - инхибиција раста коренка индикаторске врсте *Trifolium pratense* L, TENT-A – листови *R. pseudoacacia* са депоније пепела Термоелектране Никола Тесла – А (ТЕНТ-А), DelP - листови *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре, STG - листови *R. pseudoacacia* са јаловишта азбеста Страгари

Највећа оптерећења на другој оси (РС II) имале су променљиве Mn, Ni и 3-НВА (0.550, 0.579, 0.613), као и Cr, 3,5-ДНВА, рутин и инхибиција раста коренка *T. pratense* (-0.554, -0.646, -0.779, -0.322). Видљиво је издвајање депоније пепела ТЕНТ-А у позитивном сегменту друге осе и Делиблатске пешчаре у негативном сегменту друге осе. Јаловиште азбеста Страгари налази се у средини осе. Наведене променљиве највише доприносе раздвајању три типа станишта.

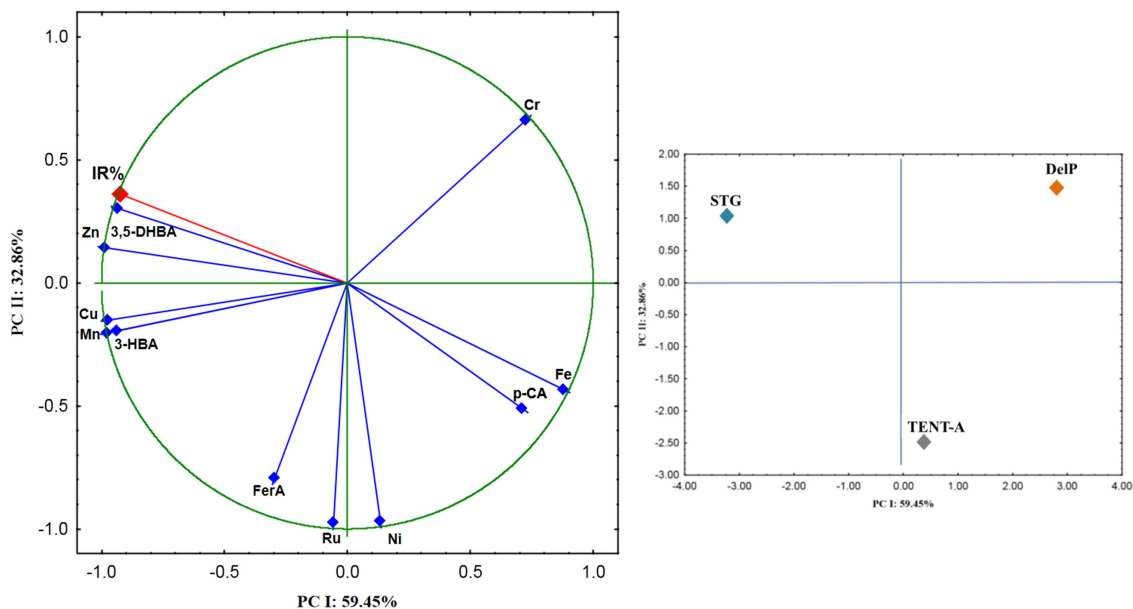
Анализа главних компоненти показује да се листови *R. pseudoacacia* са депоније пепела ТЕНТ-А издвајају по високим вредностима Ni, 3-НВА, ферулинске и *n*-

кумаринске киселине, док се са друге стране, листови *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре одликују високим вредностима Cr, 3,5-DHBA и рутина, као и високим вредностима инхибиције раста коренка индикаторске врсте *T. pratense*. Листови *R. pseudoacacia* са јаловишта азбеста Страгари карактеришу се високим концентрацијама Fe, Mn, Zn и Cu.

Анализа главних компоненти садржаја хемијских елемената и садржаја фенолних једињења у **стељи** *R. pseudoacacia*, као и инхибиције раста коренка *T. pratense* у биотестовима са стељом *R. pseudoacacia* са три различита станишта приказани су на Слици 43. Највише информација о укупној варијабилности објашњава PC I оса (59.45%), затим PC II оса (32.86%), па PC III оса (5.74%). Прве две осе објашњавају 92.31% укупне варијабилности и коришћене су у даљој анализи.

Највећи допринос првој осе (PC I) дале су променљиве Fe, Cr, *n*-кумаринска киселина (0.878, 0.724, 0.711), као и Mn, Zn, Cu, 3-НВА, 3,5-DHBA и инхибиција раста коренка *T. pratense* (-0.976, -0.987, -0.975, -0.937, -0.933, -0.925). Видљиво је издвајање Делиблатске пешчаре и депоније пепела ТЕНТ-А у позитивном сегменту прве осе и јаловишта азбеста Страгари у негативном сегменту прве осе. Наведене променљиве највише доприносе раздвајању ова три типа станишта.

Другој осе (PC II) највише су допринели параметри Cr (0.663), као и Ni, *n*-кумаринска киселина, рутин и ферулинска киселина (-0.968, -0.509, -0.973, -0.794). У позитивном сегменту друге осе издвајају се Делиблатска пешчара и јаловиште азбеста Страгари, а у негативном сегменту друге осе издваја се депонија пепела ТЕНТ-А.



**Слика 43.** Анализа главних компоненти (PCA) различитих варијабли у стељи *R. pseudoacacia* на различитим стаништима. Cr – садржај хрома, Cu – садржај бакра, Fe – садржај гвожђа, Mn – садржај мангана, Ni – садржај никла, Zn – садржај цинка, p-CA – *n*-кумаринска киселина, 3-НВА – 3-хидроксибензојева киселина, 3,5-DHBA – 3,5-дихидроксибензојева киселина, FeA – ферулинска киселина, Ru – рутин, IR% - инхибиција раста коренка индикаторске врсте *Trifolium pratense* L., TENT-A – стеља *R. pseudoacacia* са депоније пепела Термоелектране Никола Тесла – А (ТЕНТ-А), DelP - стеља *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре, STG – стеља *R. pseudoacacia* са јаловишта азбеста Страгари

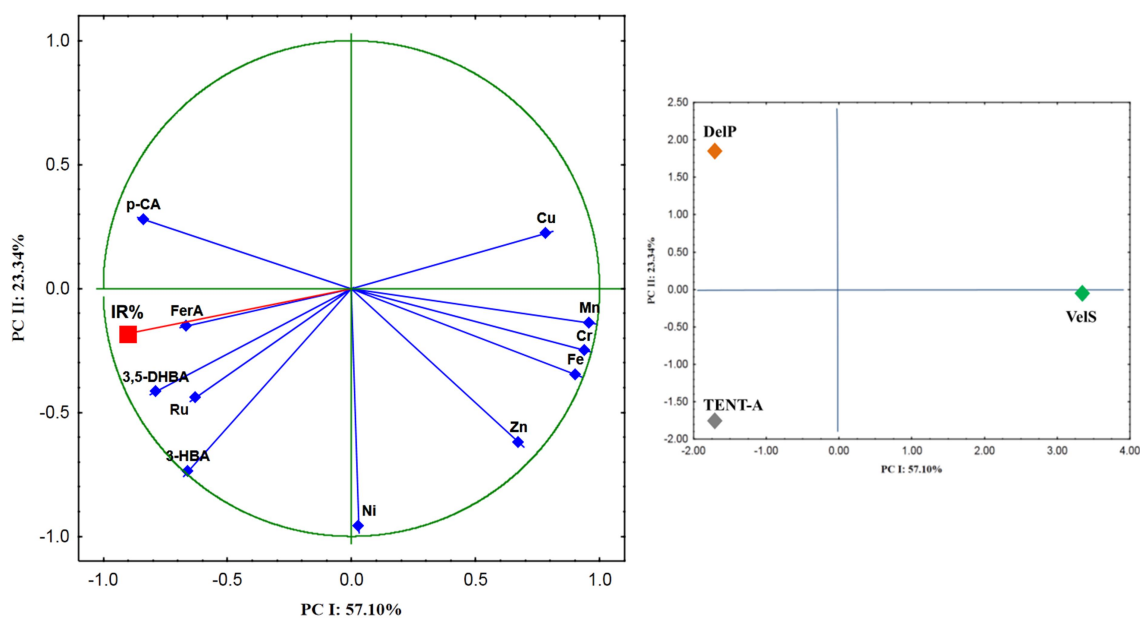
Резултати PCA анализе показују да се стеља *R. pseudoacacia* са депоније пепела ТЕНТ-А издваја по високим вредностима Ni, Fe, *n*-кумаринске и ферулинске киселине, као и рутина. Делиблатска пешчара карактерише се високим вредностима Cr у стељи *R. pseudoacacia*, док стељу ове врсте са јаловишта азбеста Страгари карактеришу високе

вредности Zn, Cu, Mn, 3-НВА, 3,5-DHBA, као и вредности инхибиције раста коренка индикаторске врсте *T. pratense*.

### 5.7.5. Анализа главних компоненти ЛИСТОВА И СТЕЉЕ *Ailanthus altissima*

Анализа главних компоненти садржаја хемијских елемената и садржаја фенолних једињења у листовима *A. altissima*, као и инхибиције раста коренка *T. pratense* у биотестовима са листовима *A. altissima* са три различита станишта приказани су на Слици 44. Највише информација о укупној варијабилности објашњава РС I оса (57.10%), затим РС II оса (23.34%), па РС III оса (14.51%). Прве две осе објашњавају 80.44% укупне варијабилности и коришћене су у даљој анализи.

Првој осе (РС I) највише доприносе променљиве Mn, Fe, Zn, Cr, Cu (0.959, 0.903, 0.675, 0.940, 0.785), као и 3-НВА, 3,5-DHBA, *n*-кумаринска и ферулинска киселина, рутин и инхибиција раста коренка *T. pratense* (-0.837, -0.657, -0.788, -0.663, -0.627, -0.903). Кречњачко станиште Крш (Велики Шењ) одваја се у позитивном сегменту прве осе, док се Делиблатска пешчара и депонија пепела ТЕНТ-А одвајају у негативном сегменту прве осе. Наведене променљиве највише доприносе раздвајању испитиваних станишта.



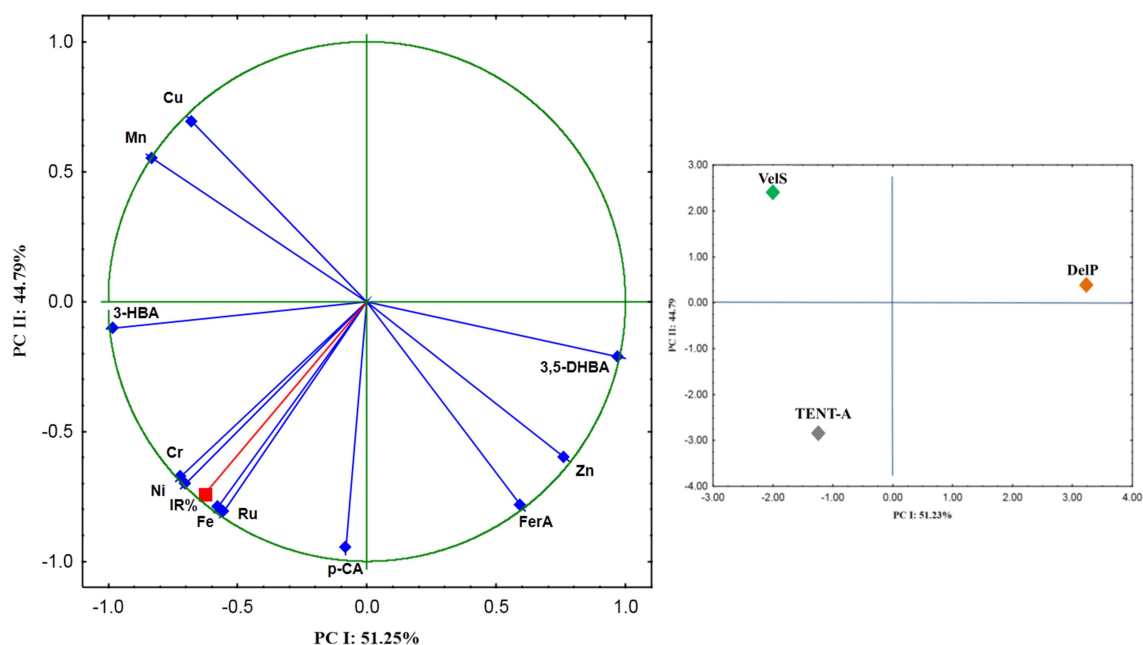
Слика 44. Анализа главних компоненти (РСА) различитих варијабли у листовима *A. altissima* на различитим стаништима. Cr – садржај хрома, Cu – садржај бакра, Fe – садржај гвожђа, Mn – садржај мангана, Ni – садржај никла, Zn – садржај цинка, *p*-СА – *n*-кумаринска киселина, 3-НВА – 3-хидроксибензојева киселина, 3,5-DHBA – 3,5-дихидроксибензојева киселина, FerA – ферулинска киселина, Ru – рутин, IR% - инхибиција раста коренка индикаторске врсте *Trifolium pratense* L, TENT-A – листови *A. altissima* са депоније пепела Термоелектране Никола Тесла – А (ТЕНТ-А), DelP - листови *A. altissima* из Делиблатске пешчаре, VelS – листови *A. altissima* са кречњачког станишта Крш – Велики Шењ

Највећи допринос другој осе (РС II) дале су променљиве Ni, Zn и 3-НВА (-0.957, -0.620, -0.738). У позитивном сегменту друге осе издваја се станиште Делиблатска пешчара, док се депонија пепела ТЕНТ-А издваја у негативном сегменту друге осе. Кречњачко станиште Крш – Велики Шењ налази се на самој средини осе.

РСА анализа указује да се листови *A. altissima* из Делиблатске пешчаре одликују већим концентрацијама *n*-кумаринске киселине, док се депонија пепела ТЕНТ-А издваја по високим вредностима Ni, 3-НВА, 3,5-ДНВА, ферулинске киселине и рутина, као и вредностима инхибиције раста коренка *T. pratense*. Са друге стране, листови *A. altissima* са кречњачког станишта Крш – Велики Шењ карактеришу се високим концентрацијама Cr, Cu, Fe, Mn и Zn.

Анализа главних компоненти садржаја хемијских елемената и садржаја фенолних једињења у стељи *A. altissima*, као и инхибиције раста коренка *T. pratense* у биотестовима са стељом *A. altissima* са три различита станишта приказани су на Слици 45. Највише информација о укупној варијабилности објашњава РС I оса (51.23%), затим РС II оса (44.79%), па РС III оса (1.81%). Прве две осе објашњавају 96.04% укупне варијабилности и коришћене су у даљој анализи.

Првој осе (РС I) највише су допринеле променљиве Zn, 3,5-ДНВА, ферулинска киселина (0.762, 0.972, 0.593), као и Mn, Ni, Fe, Zn, Cr, 3-НВА, рутин и инхибиција раста коренка *T. pratense* (-0.829, -0.701, -0.574, -0.720, -0.677, -0.980, -0.552, -0.627). У позитивном сегменту прве осе издваја се станиште Делиблатска пешчара, а у негативном сегменту се издвајају депонија пепела ТЕНТ-А и кречњачко станиште Крш – Велики Шењ. Наведене променљиве највише доприносе раздвајању испитиваних станишта.



**Слика 45.** Анализа главних компоненти (РСА) различитих варијабли у стељи *A. altissima* на различитим стаништима. Cr – садржај хрома, Cu – садржај бакра, Fe – садржај гвожђа, Mn – садржај мангана, Ni – садржај никла, Zn – садржај цинка, *p*-СА – *n*-кумаринска киселина, 3-НВА – 3-хидроксибензојева киселина, 3,5-ДНВА – 3,5-дихидроксибензојева киселина, FerA – ферулинска киселина, Ru – рутин, IR% – инхибиција раста коренка индикаторске врсте *Trifolium pratense* L, TENT-А – стеља *A. altissima* са депоније пепела Термоелектране Никола Тесла – А (ТЕНТ-А), DelP – стеља *A. altissima* из Делиблатске пешчаре, VelS – стеља *A. altissima* са кречњачког станишта Крш – Велики Шењ

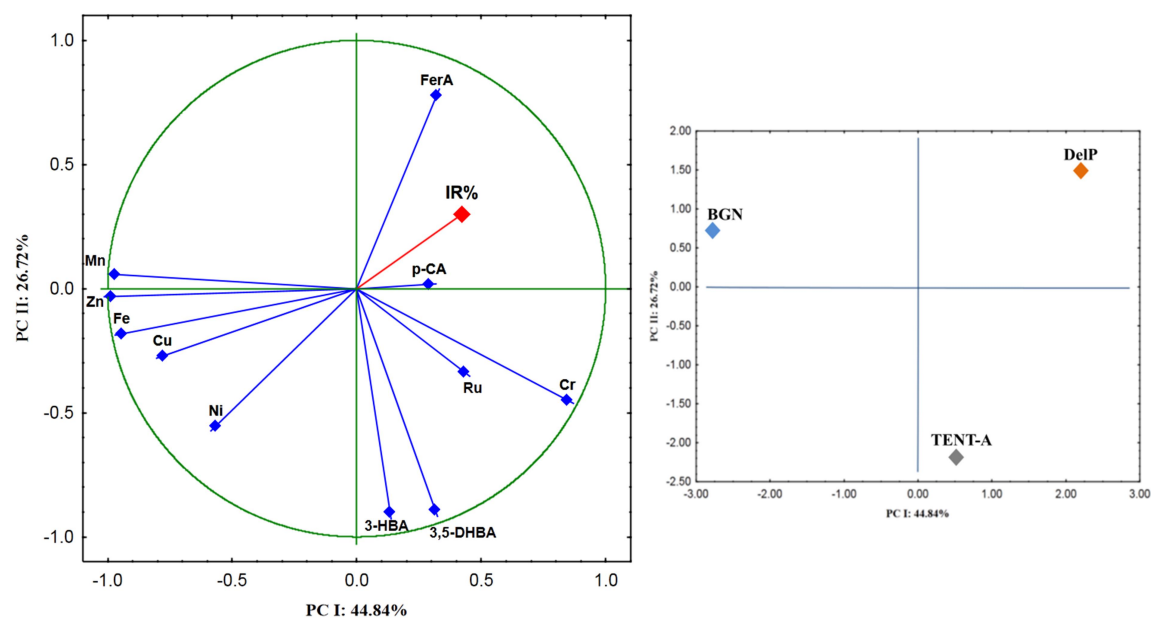
Највећа оптерећења на другој осе (РС II) имале су променљиве Mn, Cu (0.551, 0.693), као и Ni, Fe, Zn, Cr, *n*-кумаринска киселина, ферулинска киселина, рутин и инхибиција раста коренка *T. pratense* (-0.702, -0.790, -0.599, -0.673, -0.945, -0.784, -0.808, -0.741). Јасно је издвајање кречњачког станишта Крш – Велики Шењ и Делиблатске

пешчаре у позитивном сегменту друге осе, а станишта депонија пепела ТЕНТ-А у негативном сегменту друге осе.

Анализа главних компоненти (PCA) указује да се стеља *A. altissima* из Делиблатске пешчаре карактерише високим вредностима Zn, ферулинске киселине и 3,5-DHBA. Са друге стране, стеља *A. altissima* са депоније пепела ТЕНТ-А издваја се високим вредностима Cr, Cu, Fe, *n*-кумаринске киселине и рутина, као и вредностима инхибиције раста коренка *T. pratense*, док стељу *A. altissima* са кречњачког станишта Крш – Велики Шењ карактеришу високе концентрације Mn, Cu и 3-НВА.

### 5.7.6. Анализа главних компоненти листова и стеље *Amorpha fruticosa*

Анализа главних компоненти садржаја хемијских елемената и фенолних једињења у листовима *A. fruticosa*, као и инхибиције раста коренка *T. pratense* у биотестовима са листовима *A. fruticosa* са три различита станишта приказани су на Слици 46. Највише информација о укупној варијабилности објашњава PC I оса (44.84%), затим PC II оса (26.72%), па PC III оса (13.81%) и тако даље, опадајућим редом. Прве две осе објашњавају 71.56% укупне варијабилности и коришћене су у даљој анализи.



**Слика 46.** Анализа главних компоненти (PCA) различитих варијабли у листовима *A. fruticosa* на различитим стаништима. Cr – садржај хрома, Cu – садржај бакра, Fe – садржај гвожђа, Mn – садржај мангана, Ni – садржај никла, Zn – садржај цинка, p-CA – *n*-кумаринска киселина, 3-НВА – 3-хидроксibenзојева киселина, 3,5-DHBA – 3,5-дихидроксibenзојева киселина, FerA – ферулинска киселина, Ru – рутин, IR% – инхибиција раста коренка индикаторске врсте *Trifolium pratense* L., TENT-A – листови *A. fruticosa* са депоније пепела Термоелектране Никола Тесла – А (ТЕНТ-А), DelP – листови *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре, BGN – листови *A. fruticosa* са алувијалног наноса Велике Мораве (Багрдан)

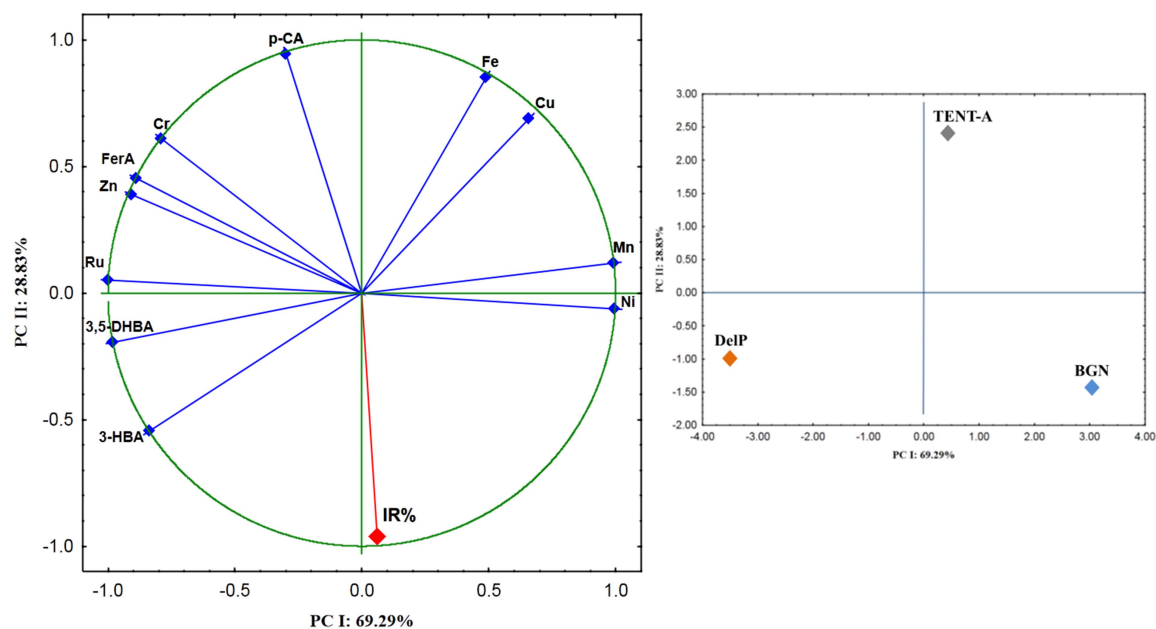
Првој осе (PC I) највећи допринос су дале променљиве Cr, рутин, инхибиција раста коренка *T. pratense* (0.846, 0.432, 0.422), као и Mn, Ni, Fe, Zn и Cu (-0.969, -0.565, -0.942, -0.987, -0.779). У позитивном сегменту прве осе издваја се станиште Делиблатска пешчара и депонија пепела ТЕНТ-А, а у негативном алувијални нанос Велике Мораве

(Багрдан). Наведене променљиве највише доприносе раздвајању три испитивана станишта.

Највећа оптерећења на другој оси (PC II) имале су променљиве ферулинска киселина, Ni, 3-НВА и 3,5-ДНВА (0.778, -0.552, -0.900, -0.892). Видљиво је раздвајање Делиблатске пешчаре и алувијалног наноса Велике Мораве (Багрдан) у позитивном сегменту друге осе и депоније пепела ТЕНТ-А у негативном сегменту друге осе.

Анализа главних компоненти указује да се листови *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре издваја по високим концентрацијама *n*-кумаринске и ферулинске киселине, као и вредностима инхибиције раста коренка *T. pratense*, док се листови *A. fruticosa* са депоније пепела ТЕНТ-А издвајају по високим вредностима Cr, 3-НВА, 3,5-ДНВА и рутина. Са друге стране, листови *A. fruticosa* са алувијалног наноса Велике Мораве (Багрдан) карактеришу се високим концентрацијама Cu, Mn, Zn, Fe и Ni.

Анализа главних компоненти садржаја хемијских елемената и садржаја фенолних једињења у стељи *A. fruticosa*, као и инхибиције раста коренка *T. pratense* у биотестовима са стељом *A. fruticosa* са три различита станишта приказани су на Слици 47. Највише информација о укупној варијабилности објашњава PC I оса (69.29%), затим PC II оса (28.83%), па PC III оса (1.41%). Прве две осе објашњавају 98.53% укупне варијабилности и коришћене су у даљој анализи.



**Слика 47.** Анализа главних компоненти (PCA) различитих варијабли у стељи *A. fruticosa* на различитим стаништима. Cr – садржај хрома, Cu – садржај бабра, Fe – садржај гвожђа, Mn – садржај мангана, Ni – садржај никла, Zn – садржај цинка, p-CA – *n*-кумаринска киселина, 3-НВА – 3-хидроксибензојева киселина, 3,5-ДНВА – 3,5-дихидроксибензојева киселина, FerA – ферулинска киселина, Ru – рутин, IR% – инхибиција раста коренка индикаторске врсте *Trifolium pratense* L, TENT-A – стеља *A. fruticosa* са депоније пепела Термоелектране Никола Тесла – А (ТЕНТ-А), DelP – стеља *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре, BGN – стеља *A. fruticosa* са алувијалног наноса Велике Мораве (Багрдан)

На првој оси (PC I) највећа оптерећења имају променљиве Mn, Ni, Cu, (0.992, 0.996, 0.658), као и 3-НВА, 3,5-ДНВА, ферулинска киселина и рутин (-0.835, -0.979, -0.889, -0.997). У позитивном сегменту прве осе издваја се депонија пепела ТЕНТ-А и алувијални нанос Велике Мораве (Багрдан), а у негативном сегменту Делиблатска пешчара. Наведене променљиве највише доприносе раздвајању ова три станишта.

Највећи допринос другој оси (РС II) дају променљиве Fe, Cr, Cu и *n*-кумаринска киселина (0.853, 0.608, 0.689, 0.944), као и 3-НВА и инхибиција раста коренка *T. pratense* (-0.544, -0.963). Видљиво је издвајање депоније пепела ТЕНТ-А у позитивном сегменту друге осе, а Делиблатске пешчаре и алувијалног наноса Велике Мораве (Багрдан) у негативном сегменту друге осе.

Анализа главних компоненти показује да се стеља *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре издваја по високим концентрацијама Cr, Zn, 3-НВА, 3,5-ДНВА, ферулинске киселине, рутина, као и вредностима инхибиције раста коренка *T. pratense*. Са друге стране, стеља *A. fruticosa* са депоније пепела ТЕНТ-А карактерише се високим вредностима Fe, Cu и *n*-кумаринске киселине, а стеља *A. fruticosa* са алувијалног наноса Велике Мораве (Багрдан) високим концентрацијама Mn и Ni, као и високим вредностима инхибиције раста коренка *T. pratense*.

## **6. Дискусија**

---



## 6.1. Индиректна алелопатија – ефекти инвазивних врста биљака на хемијске карактеристике супстрата

Инвазивне биљне врсте могу имати негативне ефекте на специјски и екосистемски биодиверзитет (Vilà *et al.*, 2011). Ове врсте могу смањити биодиверзитет (Hejda *et al.*, 2009; Gaertner *et al.*, 2009), утицати на земљишне организме (Belnap *et al.*, 2005) и стопу кружења нутријената у екосистему (Liao *et al.*, 2008). Међутим, само је око 0.5% дрвенастих и жбунастих биљних врста инвазивно изван свог изворног ареала (Richardson & Rejmánek, 2011), али се већина ових врста сврстава у „трансформаторе“ екосистема, јер могу да измене постојеће екосистеме кроз директан утицај на различите функције и индиректно кроз утицај на адаптивне карактеристике аутохтоних врста (Richardson *et al.*, 2000; Aerts *et al.*, 2017). Међу дрвенастим врстама биљака, многе легуминозе су познате као трансформатори равнотеже у екосистему, и то кроз модификацију стеље и ризосферног земљишта, као и кроз компетитивни притисак на аутохтоне врсте биљака (Bellingham *et al.*, 2001).

Савремене алелопатске студије су више фокусиране на еколошки утицај алелохемикалија на екосистеме него на директне интеракције између биљака, што указује на велики утицај алелохемикалија на кретање и кружење неорганске и органске материје у земљишту (Wardle *et al.*, 1998; Hättenschwiler & Vitousek, 2000). Алелохемикалије примарно имају утицај на рН земљишта, садржај С и N, водни режим биљака, усвајање нутријената, стопу разлагања органске материје као и на активност земљишних микроорганизама (Ђурђевић *et al.*, 2010).

### 6.1.1. Утицај испитиваних биљних врста на хемијске карактеристике супстрата на различитим стаништима

Земљиште је комплексан физички, хемијски и биолошки систем (Inderjit, 1996). Инвазивне биљне врсте, преко једињења која се ослобађају испирањем са листова, разлагањем стеље или активним излучивањем из коренова, утичу на физичко-хемијске карактеристике земљишта, нарочито на температуру и влажност, као и на киселост земљишта. Наведени параметри представљају доминантне еколошке факторе који утичу на структуру и динамику биљних заједница, метаболичке активности микроорганизама у земљишту, степен разлагања стеље, као и доступност земљишног азота. Инвазивне биљне врсте могу променити ове карактеристике земљишта и створити „нов екосистем“, који је често веома тешко или скоро немогуће вратити у претходно стање (Goldberg, 2009; Hobbs *et al.*, 2009).

Фенолна једињења пореклом из доминантних биљних врста могу да утичу на карактеристике земљишта као што су рН, садржај органске материје и нутријената (Rice, 1984; Inderjit, 1996). Висок садржај фенолних једињења у супстрату може довести до смањивања вредности рН (Dalton *et al.*, 1989). Фенолна једињења имају потенцијал да створе услове са ниским садржајем и доступношћу неких нутријената (Inderjit & Mallik, 1997). Ови измењени услови у земљишту могу да имају негативан утицај на раст биљака (Black, 1973), па је у алелопатским биотестовима важно утврдити да ли су алелопатски ефекти присутни услед директних ефеката алелохемикалија на акцепторску врсту, или је то резултат измењених карактеристика земљишта (супстрата) (Inderjit & Mallik, 1997).

У погледу бројности и примарне продукције, доминантне дрвенасте врсте у биљним заједницама имају важну улогу као главни извор фенолних једињења, која затим имају важан ефекат на интеракције биљка – стеља – земљиште (Ђурђевић *et al.*,

2012). Фенолна једињења имају велики утицај на педогенезу и плодност различитих типова земљишта, односно утичу на рН, доступност и динамику земљишних нутријената (N, P, K, Mn, Fe и Cu), усвајање јона и стопу разлагања стеље (Ђурђевић *et al.*, 2010).

#### 6.1.1.1. Утицај испитиваних биљних врста на рН вредност супстрата на различитим стаништима

Реакција супстрата (рН), која представља степен киселости, базности или неутралности воденог екстракта земљишта, има утицај на раст биљних врста у природним екосистемима, присутност микроорганизама и доступност нутријената (Härdtle *et al.*, 2004; Rousk *et al.*, 2009;). Раст инвазивних врста биљака на неком станишту може утицати на промене киселости земљишта, односно на повећање рН вредности (Kourtevet *et al.*, 1999; Ehrenfeld *et al.*, 2001), смањење рН вредности (Scott *et al.*, 2001), или може да нема значајан утицај на промену киселости земљишта (Maurel *et al.*, 2010). Ниске вредности рН могу да смање број водоничних веза између хидроксилних група фенолних једињења и честица земљишта, што фаворизује десорпцију фенолних једињења са површине земљишних честица (Young, 1984) и повећава концентрацију фенолних једињења у земљишном раствору. Међутим, веће вредности рН могу стимулисати већу микробну активност (Aarino & Martikainen, 1994), што доводи до смањеног садржаја органске материје и фенолних једињења у земљишту.

***R. pseudoacacia***. Резултати истраживања у овој докторској дисертацији су показали да је рН (H<sub>2</sub>O) и рН (KCl) на различитим типовима станишта била неутрална до умерено базна. Врста *R. pseudoacacia* расте на широком опсегу киселости земљишта, од киселих до алкалних. Тако, у аутохтоном ареалу, рН вредности земљишта на којима расте *R. pseudoacacia* крећу се од 4.0 – 8.2 (Vogel, 1981; Huntley, 1990). На песковитим земљиштима у Немачкој, *R. pseudoacacia* расте у условима веома киселог земљишта, чије су рН вредности око 3.2 (Kowarik, 1992), док у централним деловима Шпаније и Чешке расте на умерено базном земљишту (рН=7.9) (Castro-Díez *et al.*, 2009).

Ризосферни супстрат *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре и јаловишта азбеста био је благо киселији у односу на контролни супстрат. Смањивање рН вредности у ризосферном супстрату у односу на контролни супстрат може да укаже на ефекте фенолних једињења пореклом из листова, стеље и коренских ексудата (Whitehead *et al.*, 1982), што се слаже са резултатима Wang *et al.* (2010) по којима се разлагањем органске материје пореклом од *R. pseudoacacia* могу ослободити органске и неорганске киселине у земљиште, које потом могу да смање вредност рН. На депонији пепела ризосферни супстрат *R. pseudoacacia* је био значајно базнији у односу на контролни супстрат. Веће вредности рН (H<sub>2</sub>O) и рН (KCl) код ризосферног супстрата са депоније пепела у односу на контролни супстрат биле су повезане са већим концентрацијама ферулинске киселине и рутина. Међутим, претходним истраживањима других аутора нису биле утврђене значајне промене у рН земљишта након пошумљавања терена врстом *R. pseudoacacia* (Xu *et al.*, 2020).

***A. altissima***. Утицај *A. altissima* на рН (H<sub>2</sub>O) и рН (KCl) супстрата био је значајан на станишту Делиблатска пешчара на коме је ризосферни супстрат био киселији у односу на контролни супстрат, што би се могло повезати са његовим већим садржајем 3,5-DHBA и рутина. Ниже рН вредности у ризосферном супстрату у односу на контролни супстрат могле би да укажу на ефекте фенолних једињења пореклом из листова, стеље и коренских ексудата (Whitehead *et al.*, 1982).

Студије ревитализације јаловишта рудника показале су да *A. altissima* боље успева на киселим у односу на базније супстрате (Miller, 1990) и да може да толерише  $\text{pH} < 4.1$  (Plass, 1975). Међутим, Motard *et al.* (2015) су уочили значајно повећање  $\text{pH}$  у шумским састојинама са *A. altissima* у односу на састојине без ове врсте, док је Ehrenfeld (2003) указао да се  $\text{pH}$  може повећавати или смањивати у састојинама *A. altissima*, иако ти механизми нису довољно објашњени. Студије које су до сада вршене су показале да углавном *A. altissima* нема значајан ефекат на  $\text{pH}$  (Castro-Diez *et al.*, 2009) или је тај ефекат слаб (Gomez-Aparicio & Canham, 2008; Motard *et al.*, 2015), што се слаже са резултатима добијеним у овој дисертацији.

*A. fruticosa*. Утицај *A. fruticosa* на  $\text{pH}$  вредност супстрата био је значајан само на депонији пепела, где је ризосферни супстрат био киселији у односу на контролни супстрат. До сличних резултата су дошли и Herr *et al.* (2007) који су показали да се земљиште у састојинама инвазивне врсте *Solidago gigantea* карактерисало нижим вредностима  $\text{pH}$  од околних састојина у којима је ова врста одсуствовала. Слично, према Lee & Greenwood (1976) вредности  $\text{pH}$  супстрата су расле са дужином пепела, док је нижа вредност  $\text{pH}$  на површини супстрата могла да буде резултат накупљања органске материје и хуминских киселина. Добијени резултати у овој дисертацији су такође у сагласности са резултатима Đurđević *et al.* (2006) по којима је садржај органске материје (хумуса) био већи у деловима депоније пепела где је бројност и покривност биљних врста била већа у односу на делове депоније пепела где је биљака било мање.

#### 6.1.1.2. Утицај испитиваних биљних врста на садржај C, N и однос C/N у супстрату на различитим стаништима

Органска материја у земљишту може имати кључну улогу у активности алелохемикалија (Loffredo *et al.*, 2005; Tharayilet *et al.*, 2009). Садржај водорастворних фенолних једињења је под јаким утицајем органске материје у земљишту (Kuiters & Denman, 1987). У раним фазама ревитализације депонија пепела, количина N представља један од главних лимитирајућих фактора за успостављање биљног покривача (De Kovel *et al.*, 2000). Проучавајући хемијске промене на јаловишту рудника у Турској, Sever & Makineci (2009) су показали да са развојем вегетације расте и садржај N у супстрату. Анализирајући акумулацију N на депонијама пепела током времена, Alday *et al.* (2012) су закључили да она може бити последица како примене ђубрива током сетве, тако и деловања биљака азотофиксатора које доминирају у првим фазама сукцесије. До повећања садржаја нутријената (N, P и K) у површинским слојевима пепела током времена долази и захваљујући накупљању изумрлих биљних делова, као и повећању укупног капацитета адсорпције (Shaw, 1992). Биљке азотофиксатори, које су толерантне на висок садржај тешких метала, могу колонизовати станишта попут пепелишта и јаловишта рудника и на тај начин допринети обогаћивању супстрата азотом усвојеним из атмосфере, кроз минерализацију стеље која се лако разлаже (Montagnini & Sancho-Mora, 1990; Kostić, 2014). Такође, у секундарним фазама сукцесије биљних заједница, биљке азотофиксатори могу доминирати и убрзати акумулацију азота и органске материје и остварити утицај на кружење елемената (Boring & Swank, 1984). Међутим, на оваквим стаништима веома је мали број слободних или симбиотских микроорганизама који могу да фиксирају азот, као и гљива које могу остварити симбиотску микоризу (Haunes, 2009).

*R. pseudoacacia*. Врста, *R. pseudoacacia* може да генерише промене у физичко-хемијским и биолошким карактеристикама земљишта, може да утиче на састав биљних врста фаворизовањем рудералних и нитрофилних коровских асоцијација, да елиминише

олиготрофне и ацидофилне биљне врсте, и самим тим може да смањи биодиверзитет (Benesperi *et al.*, 2012; Vuković *et al.*, 2015). У биљним састојинама где је *R. pseudoacacia* инвазивна врста, земљишта имају ниже вредности рН и већу количину N (Lazzaro *et al.*, 2018).

Истраживања De Marco *et al.* (2013) показала су да раст *R. pseudoacacia* поспешује акумулацију органске материје и угљеника у земљишту. Резултати ове докторске дисертације показали су да је врста *R. pseudoacacia* само на депонији пепела могла значајно да допринесе повећању укупног садржаја угљеника (C) у ризосферном супстрату, чији је садржај био за 62.30% већи у односу на контролни супстрат. Током сагоревања угља долази до оксидације C и N, тако да је њихово присуство у контролном супстрату на пепелиштима занемарљиво (Haynes, 2009). Угљеник на депонији пепела делом потиче од угља, а делом од хумуса (Haworth, 1971). Тако на пепелиштима термоелектрана, део угљеника је пореклом из лигнита, и може у релативно значајној мери компензовати недостатак угљеника пореклом од разложене органске материје и на тај начин остварити утицај на физичко-хемијске карактеристике супстрата (Fettweis *et al.*, 2005; Kostić, 2014).

Утицај *R. pseudoacacia* на садржај C у супстрату из Делиблатске пешчаре и јаловишта азбеста није био значајан. Gorban *et al.* (2020) су показали да у земљишту састојина *R. pseudoacacia* постоји смањење садржаја угљеника. Супротно добијеним резултатима, Fettweis *et al.* (2005) су показали да на стаништима, као што су јаловишта рудника, повећање садржаја угљеника углавном долази са старошћу вегетације, јер угљеник једним делом потиче од разложене органске материје која има удела у синтези хумуса.

*R. pseudoacacia* је биљна врста која може да расте на сиромашним и неплодним земљиштима. Тако, способност ове врсте да расте брзо, као и да врши фиксацију азота (азотофиксатор) може да допринесе повећању садржаја азота у земљишту (Rahmonov, 2009). Студије других аутора су показале да *R. pseudoacacia* може да оствари значајне утицаје на разлике у садржају угљеника и азота у земљишту (Dzwonko & Loster, 1997; Von Holle *et al.*, 2006). Могуће је да је врста *R. pseudoacacia* допринела повећању садржаја N у ризосферном супстрату из Делиблатске пешчаре и са депоније пепела за 15.79% и 29.67% у односу на контролни супстрат, што би се могло повезати са већим садржајем 3,5-ДНВА (Делиблатска пешчара) и већим садржајем ферулинске киселине и рутина (депонија пепела). Rice *et al.* (2004) су показали да *R. pseudoacacia* може да повећа резерве азота у земљишту кроз способност враћања азота кроз стељу и убрзавање минерализације азота, нарочито када расте на земљиштима сиромашним овим нутријентом. Повећање количине азота у земљишту није резултат само ослобађања азота из опалих листова и коренова, него и из коренских ексудата који садрже 1-2% фиксираниог азота (Tateno *et al.*, 2007).

Разлике у садржају N између ризосферног супстрата *R. pseudoacacia* и контролног супстрата са јаловишта азбеста нису биле значајне. Ниске вредности N на јаловишту азбеста могле би се објаснити инхибицијом процеса нитрификације и азотофиксације (Liu & Deng, 1991). Тако, у земљишту антропогено нарушених станишта, минерализација органског N се одвија доста спорије у односу на природна земљишта. Биљке које расту на оваквим земљиштима усвајају мање N и продукују мању биомасу (Reeder, 1985; Gajić, 2013). Често је потребно више од 30 година да би се укупан садржај N у земљишту повећао до нивоа који је најбољи за снабдевање биљака (Vimmerstedt *et al.*, 1989). Тако је укупан садржај азота у земљишту у околини рудника, где је вегетација стара 13 година, био значајно већи у односу на станиште са вегетацијом старом само једну годину (Zhao *et al.*, 2013).

Висок однос C/N може бити резултат високих концентрација угљеника пореком из матичне подлоге, као и недовољне количине азота потребне за микробну активност (Huang *et al.*, 2012). На Делиблатској пешчари и јаловишту азбеста разлика у вредностима C/N између контролног и ризосферног супстрата *R. pseudoacacia* је била занемарљиво мала, док је ризосферни супстрат са депоније пепела имао 51.07% већу вредност C/N у односу на контролни супстрат, би се могло објаснити значајно већом количином C у ризосферном супстрату. Такође, веће вредности C/N биле су праћене и већим вредностима ферулинске киселине и рутина у ризосферном супстрату у односу на контролни супстрат. Добијени резултати нису у сагласности Boring & Swank (1984), који указују да ризосферно земљиште *R. pseudoacacia* има ниске вредности односа C/N, вероватно услед високог садржаја лигнина у стељи који регулише акумулацију органске материје. При високим вредностима односа C/N стимулише се активност гљива, које приликом распадања ослобађају важне нутријенте у ризосфери (Merilä *et al.*, 2010; Huang *et al.*, 2012), што је било показано и на депонији пепела, где су веће вредности C/N биле праћене већим концентрацијама P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O у ризосферном супстрату.

**A. altissima.** Врста *A. altissima* може да утиче и на повећање органског угљеника и киселости земљишта, као и на смањење односа C/N (Kowarik & Samuel, 2007), што је било и потврђено добијеним резултатима у овој докторској дисертацији. Тако је било утврђено значајно повећање садржаја C у ризосферном супстрату из Делиблатске пешчаре (75.83%), депоније пепела (71.98%) и кречњачког станишта (55.24%), у односу на контролни супстрат. На станишту Делиблатска пешчара, већи садржај C у ризосферном супстрату *A. altissima* био је праћен већим вредностима 3,5-DHBA и рутина у односу на контролни супстрат, док је већи садржај C у ризосферном супстрату кречњачког станишта био повезан са већим садржајем 3,5-DHBA и 3-NBA у односу на контролни супстрат.

Према Udvardy *et al.* (2008) при разлагању велике количине опалог лишћа и стеље *A. altissima* долази до акумулације азота у земљишту, што се поклапа са великом покровношћу нитрофилних врста биљака у спрату приземне флоре у састојинама. Резултати ове докторске дисертације показали су да је врста *A. altissima* могла да утиче на повећање садржаја N у ризосферном супстрату на испитиваним стаништима. Тако је измерен значајно већи садржај N у ризосферном у односу на контролни супстрат, и то на станишту Делиблатска пешчара за 68.63% и на депонији пепела за 70.27%, што се може повезати са већим вредностима 3,5-DHBA и рутина (Делиблатска пешчара).

На кречњачком станишту садржај N је био већи у ризосферном супстрату за 37.25% у односу на контролни супстрат, што је било праћено већим вредностима 3,5-DHBA и 3-NBA. Показано је да инвазивне врсте биљака као што је *A. altissima* могу да утичу на стопу кружења азота кроз повећану минерализацију стеље и повећане резерве азота (Ehrenfeld, 2003; Vila *et al.*, 2006; Gomez-Aparicio & Canham, 2008). Модификација кружења азота може да утиче на активност земљишних организама, што је позитивно корелисано са доступношћу азота у органској материји (Gallardo & Merino, 1992). Резултати Gómez-Aparicio & Canham (2008) су показали да *A. altissima* може да повећа доступност нутријената и степен њиховог кружења у површинском делу земљишта, услед њихове високе концентрације у стељи. Тако су резерве N у земљишту биле веће у ризосферном земљишту *A. altissima* у односу на *Acer saccharum*, *Fraxinus americana* и *Quercus rubra* (Gómez-Aparicio & Canham, 2008).

Ризосферни супстрат *A. altissima* се на депонији пепела карактерисао мањом вредношћу C/N за 91.98% у односу на контролни супстрат са депоније пепела, док је на Делиблатској пешчари та разлика била занемарљиво мала. Тако се при нижим вредностима односа C/N стимулише активност микроорганизама (Huang *et al.*,

2012). Органске супстанце које имају више азота обогатиће земљиште бројним нутријентима, док ће генерисати низак ниво стабилног угљеника у земљишту (Wardle *et al.*, 2004). Међутим, на кречњачком станишту, ризосферни супстрат *A. altissima* се карактерисао већом вредношћу C/N за 28.09% у односу на контролни супстрат, што је било праћено значајно већим вредностима 3,5-ДНВА и 3-НВА. Генерално, резултати добијени у овој дисертацији се слажу са резултатима Kowarik & Samuel (2007) по којима врста *A. altissima* може да утиче на смањење односа C/N у земљишту.

*A. fruticosa*. Садржај С у ризосферном супстрату *A. fruticosa* на депонији пепела био је за 65.13% већи у односу на контролни супстрат, док је тај утицај био мањи у Делиблатској пешчари (31.78%). Тако је већи садржај С у ризосферном у односу на контролни супстрат на депонији пепела био праћен већим вредностима 3,5-НВА и рутина. На алувијалном наносу Велике Мораве утицај *A. fruticosa* на повећање садржаја С у супстрату није био значајан. Слично, истраживања Boscutti *et al.* (2020) су показала да инвазија *A. fruticosa* није допринела значајном повећању органског угљеника у земљишту под ливадском вегетацијом. Иако се сматра да инвазија дрвенастих врста биљака генерално може да води ка повећању количине угљеника у неким екосистемима, Jackson *et al.* (2002) су показали да ова тврдња не мора бити увек тачна.

Утицај *A. fruticosa* на повећање садржаја N био је значајан на сва три испитивана станишта. Ризосферни супстрат *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре (33.33%), са депоније пепела (54.17%) и алувијалног наноса Велике Мораве (16%) се карактерисао већом количином N односу на контролни супстрат. Већи садржај N у ризосферном супстрату *A. fruticosa* на депонији пепела био је праћен већим вредностима 3-НВА и рутина у односу на контролни супстрат. Количина N у земљишту се генерално може повећавати након колонизације *A. fruticosa* (Billings & Richter, 2006; Boscutti *et al.*, 2020), што се може везати за разлагање органске материје (Dijkstra *et al.*, 2006). Већи улаз азота у земљиште кроз стељу на местима где је присутна инвазивна врста може да доведе до веће стопе биолошке активности и последично веће минерализације органске материје и повећаног кружења азота у систему земљиште-биљка (Boscutti *et al.*, 2020). Мањи садржај N на алувијалном наносу Велике Мораве у односу на Делиблатску пешчару и депонију пепела може бити последица већих вредности рН супстрата, које могу негативно утицати на микроорганизме који учествују у фиксацији азота (Gupta *et al.*, 2002).

Ризосферни супстрат *A. fruticosa* са депоније пепела се карактерисао већим вредностима C/N у односу на контролни супстрат (25.58%), што је било праћено већим садржајем 3-НВА и рутина. Веће вредности C/N биле су праћене већим садржајем 3-НВА и рутина у ризосферном супстрату *A. fruticosa* са депоније пепела. На Делиблатској пешчари и алувијалном наносу Велике Мораве није било значајних разлика у вредностима C/N између контролног и ризосферног супстрата *A. fruticosa*. Са повећањем садржаја N у ризосферном супстрату долази до сужавања односа C/N, што погодује стварању услова за развој микроорганизма (Andreoni *et al.*, 2004). Висок однос C/N на контролном супстрату са депоније пепела може да буде резултат високог садржаја С пореклом од лигнита и малих концентрација N у супстрату.

### 6.1.1.3. Утицај испитиваних биљних врста на садржај P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O у супстрату на различитим стаништима

Доступне форме фосфора су један од главних ограничавајућих фактора за раст биљних врста услед његове слабе растворљивости и високе стопе сорпције у земљишту (Norton *et al.*, 2011). Неке биљне врсте могу да модификују ризосферу у циљу повећања доступности садржаја фосфора. Ове промене у ризосфери укључују ослобађање

фенолних једињења, као што је 3,5-DHBA, која може да раствори и акумулира неоргански фосфор (Ђурђевић *et al.*, 2010). Накупљање изумрлих биљних делова на површини земљишта, као и акумулација хумусних материја у површинском делу земљишта доприноси повећању тоталног капацитета адсорпције и садржаја нутријентата, као што су N, P и K (Shaw, 1992; Kostić, 2014). Резултати досадашњих истраживања указују да су веће концентрације фосфора често у позитивној корелацији са инвазијом биљних врста, као и да ниже вредности pH земљишта доприносе већем садржају доступних облика фосфора (Penn & Camberato, 2019). Дрвенасте врсте биљака усвајају значајно веће количине калијума него фосфора, али је недостатак за биљке приступачног калијума доста ређи. Недостатак K<sub>2</sub>O је обично највише изражен код песковитих земљишта, која због малог адсорптивног комплекса немају капацитет да задрже калијум у земљишту (Ćirić, 1991). Такође, губици калијума испирањем су значајно већи у киселим земљиштима, него базним, нарочито оним који су засићени јонима Ca<sup>2+</sup> (Ćirić, 1991). На стаништима као што су депоније пепела и јаловишта рудника, биљке доприносе активацији биолошких процеса, јер представљају извор макро- и микронутријената, као и станиште за земљишну фауну, која помаже стварању оптималних услова за раст биљака (Frouz *et al.*, 2008; Moreno-de las Heras, 2009).

**R. pseudoacacia.** *R. pseudoacacia* може допринети повећању доступних форми фосфора (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) и повећати базну сатурацију површинских слојева земљишта, што побољшава доступност нутријената (Xu *et al.*, 2020). Ризосферни супстрат *R. pseudoacacia* на депоније пепела се карактерисао већим садржајем P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> у односу на контролни супстрат (48.85%), као и значајно већим вредностима ферулинске киселине и рутина. На станишту Делиблатска пешчара и јаловиште азбеста тај допринос је био занемарљив. Мали садржај доступног фосфора у контролном супстрату на депонији пепела може бити последица алкалне реакције пепела и стварања нерастворних једињења фосфора са Fe и Al (Adriano *et al.*, 1980). Међутим, низак садржај фосфора у састојинама *R. pseudoacacia* на јаловишту азбеста могао би да инхибира фиксацију атмосферског азота чак и пре него што дође до увећавања и сушења биљке (Liu & Deng, 1991).

Резултати истраживања су показали да на концентрацију K<sub>2</sub>O у супстрату врста *R. pseudoacacia* има релативно мали утицај. На депонији пепела садржај K<sub>2</sub>O био је значајно већи у ризосферном супстрату у односу на контролни супстрат (за 12.34%), док су на остала два станишта те разлике биле минималне. Већи садржај K<sub>2</sub>O на депонији пепела у ризосферном супстрату се може објаснити већим вредностима ферулинске киселине и рутина. Већи садржај доступног K<sub>2</sub>O на депонији пепела, нарочито у ризосферном супстрату може бити последица додавања вештачког ђубрива приликом сетве, али након неколико година од почетка обнове вегетације депоније пепела, повећан садржај доступног K<sub>2</sub>O у ризосферном супстрату може бити резултат развијеног биљног покривача, што доприноси већем садржају органске материје у површинском слоју пепела (Kostić, 2014). Тако су Wang *et al.* (2010) указали да је садржај C, N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O био значајно већи у земљиштима на којима су формиране плантаже *R. pseudoacacia* у односу на контролна земљишта..

**A. altissima.** Садржај доступних форми P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> у ризосферном супстрату *A. altissima* био је на депонији пепела за 65.48% већи у односу на контролни супстрат, што је било праћено мањим садржајем 3,5-DHBA и 3-NBA. Повећање доступног фосфора у ризосферном супстрату на депонији пепела могло би се објаснити додавањем ђубрива приликом сетве, а смањење његовим испирањем из алумосиликатног матрикса пепела под утицајем падавина и смањења pH (Townsend & Gillham, 1975). Истраживања у овој докторској дисертацији указују да је пораст садржаја P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> може бити везан за утицај биљног покривача, што потврђују и истраживања других аутора (Ram *et al.*, 2008;

Kostić, 2014; Gajić, 2014). На станишту Делиблатска пешчара и на кречњачком станишту овај утицај је био доста мањи, јер разлике у садржају  $P_2O_5$  између контролног и ризосферног супстрата *A. altissima* нису биле статистички значајне.

Садржај  $K_2O$  у ризосферном супстрату из Делиблатске пешчаре био је за 38.07%, а на депонији пепела за 36.77% већи у односу на контролни супстрат. Већи садржај  $K_2O$  у ризосферном супстрату Делиблатске пешчаре се може повезати са већим садржајем 3,5-ДНВА и рутина, а мањим вредностима рН ( $H_2O$ ) и рН (KCl), као и мањим садржајем *n*-кумаринске киселине у односу на контролни супстрат. На депонији пепела већи садржај  $K_2O$  у ризосферном супстрату био је повезан са мањим садржајем 3,5-ДНВА и 3-НВА у односу на контролни супстрат. На кречњачком станишту није било значајних разлика у садржају  $K_2O$  између контролног и ризосферног супстрата *A. altissima*.

*A. fruticosa*. Утицај *A. fruticosa* на садржај доступних облика фосфора ( $P_2O_5$ ) био је изражен на депонији пепела, где је концентрација  $P_2O_5$  у ризосферном супстрату била 65.48% већа у односу на контролни супстрат, што се поклапало са значајно већим вредностима 3-НВА и рутина, а нижим вредностима рН ( $H_2O$ ). Sanon *et al.* (2009) су показали да је инвазија врсте *Amaranthus viridis* била праћена повећањем концентрације азота, угљеника, укупног и доступног фосфора у земљишту до дубине 15 cm. Исто тако, фенолна једињења могу утицати на повећање доступности фосфора и то путем конкуренције за места апсорпције анјона и везивањем за растворне облике Al, Fe и Mn (Kafkafi *et al.*, 1988). На алувијалном наносу Велике Мораве, који генерално садржи највеће концентрације  $P_2O_5$  у односу на остала два типа станишта, садржај  $P_2O_5$  био је већи за 14.81% већи у контролном у односу на ризосферни супстрат *A. fruticosa*.

Утицај *A. fruticosa* на повећање садржаја  $K_2O$  био је изражен код ризосферног супстрата из Делиблатске пешчаре и депоније пепела, који су се карактерисали већим вредностима у односу на контролни супстрат (30.60% и 54.11%). Већи садржај  $K_2O$  у ризосферном супстрату *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре био је праћен већим вредностима C и N, а мањим садржајем *n*-кумаринске киселине и 3-НВА у односу на контролни супстрат, док је на депонији пепела већи садржај  $K_2O$  у ризосферном супстрату био везан за веће концентрације 3-НВА и рутина.

### 6.1.2. Утицај испитиваних биљних врста на садржај хемијских елемената у супстрату и стељи на различитим стаништима

Садржај хемијских елемената у супстрату, а нарочито тешких метала, може имати кључну улогу у активности алелохемикалија (Pollock *et al.*, 2009) и може утицати на синтезу и ослобађање секундарних метаболита из коренова биљака, што даље утиче на повећање доступности одређених нутријената у земљишту, или доводи до стварања хелата са тешким металима (Li *et al.*, 2007; Đurđević *et al.*, 2010; Makoi & Ndakidemi, 2012). Доступност хемијских елемената зависи од капацитета различитих биљних врста да мобилишу ове нутријенте кроз промене ризосфере. Кључни процеси који се одвијају у ризосфери и који доприносе већој доступности и усвајању хемијских елемената су: 1) смањење рН вредности ризосферног земљишта или редокс потенцијала, што омогућава ослобађање елемената из јоноизмењивачког комплекса земљишта у земљишни раствор; 2) ексудација органских једињења и комплексирања метала у земљишном раствору са органским једињењима и 3) усвајање елемената од стране коренова и десорпција хемијских елемената из јоноизмењивачког комплекса земљишта (Hinsinger, 2001; Loosemore *et al.*, 2004). Сви ови процеси варирају у интензитету и динамици у зависности од биљне врсте, типа земљишта и општих еколошких услова на станишту.



### 6.1.2.1. Утицај испитиваних биљних врста на садржај Cr у супстрату и стељи на различитим стаништима

Хром (Cr) не представља есенцијални елемент за биљке (Kabata-Pendias, 2011; Singh *et al.*, 2013). У малим концентрацијама овај хемијски елемент може имати повољан ефекат на раст биљака, док у великим концентрацијама постаје изузетно токсичан, инхибиторно утичући на функционисање биљака, а често доводи и до смрти биљке (Shanker *et al.*, 2009). Cr у земљишту је пореклом из геолошке подлоге, и његове високе концентрације биле су утврђене су у габроидним и ултрабазичним стенама које су богате Fe, Ni и Cr (Kazakou *et al.*, 2010). У ултрабазичним стенама садржај Cr може бити и преко  $3000 \mu\text{g g}^{-1}$ , док у стенама киселе реакције (гранит) може бити мање од  $50 \mu\text{g g}^{-1}$  (Kabata-Pendias, 2011). У незагађеним земљиштима неутралне рН вредности Cr је слабо покретан, и зато тешко доступан биљкама. Cr је чврсто везан у земљиштима богатим глином и хумусом, а нешто слабије у песковитим земљиштима. Његова покретљивост у земљишту је мала, тако да се обично апсорбује у површинском слоју земљишта. У већини земљишта више се усваја  $\text{Cr}^{6+}$  и брзо редукује до  $\text{Cr}^{3+}$ , који затим прелази у слабо растворљиви  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  тешко доступан биљкама (Branković, 2015). Cr доспева у земљиште након јонизације соли које су растворљиве попут хромата Na, K, Mg и Ca (Kastori, 1993; Kabata-Pendias, 2011).

**R. pseudoacacia.** Утицај *R. pseudoacacia* на садржај Cr у супстрату није био значајан на станишту Делиблатска пешчара и јаловиште азбеста. На депонији пепела ризосферни супстрат се карактерисао већим концентрацијама Cr у односу на контролни супстрат (17.97%), што је било праћено већим концентрацијама ферулинске киселине и рутина. Узрок већем садржају Cr у ризосферном супстрату може бити таложење Cr у земљишту пореклом из опалих надземних биљних делова (Maillard *et al.*, 2015), или из коренова активном ексудацијом материја које могу да повећају доступност нутријената и тешких метала (Dakora & Phillips, 2002). Такође, разлог томе могу бити и веће вредности рН ( $\text{H}_2\text{O}$ ) и рН (KCl) код ризосферног супстрата у односу на контролни супстрат, јер се у алкалним условима повећава доступност Cr (Kastori, 1993; Dubikova *et al.*, 2006).

На станишту Делиблатска пешчара, садржај Cr у контролном супстрату био је изнад просечног опсега ( $68.20 - 70.10 \mu\text{g g}^{-1}$ ) ( $47 - 51 \mu\text{g g}^{-1}$ , Kabata-Pendias, 2011), док је у ризосферном супстрату био у критичном опсегу ( $65.10 - 85 \mu\text{g g}^{-1}$ ) ( $75 - 100 \mu\text{g g}^{-1}$ , Alloway, 1990). На депонији пепела је садржај Cr у контролном супстрату био изнад просечних вредности ( $61 - 62.90 \mu\text{g g}^{-1}$ ), а у ризосферном супстрату у критичном опсегу ( $71.40 - 80.20 \mu\text{g g}^{-1}$ ). Садржај Cr је на јаловишту азбеста био испод просечног опсега ( $32.90 - 34.40 \mu\text{g g}^{-1}$  контролни супстрат,  $33.10 - 35.80 \mu\text{g g}^{-1}$  ризосферни супстрат) ( $47 - 51 \mu\text{g g}^{-1}$ , Kabata-Pendias, 2011).

Концентрација Cr у листовима *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре била је токсична ( $10 - 11.50 \mu\text{g g}^{-1}$ ), док је на депонији пепела и јаловишту азбеста садржај Cr била изнад нормалног опсега, али не и токсична ( $2.85 - 3.91 \mu\text{g g}^{-1}$ ,  $4.22 - 4.92 \mu\text{g g}^{-1}$ ) ( $0.1 - 0.5 \mu\text{g g}^{-1}$  нормалан опсег,  $5 - 30 \mu\text{g g}^{-1}$  токсичан опсег, Kabata-Pendias, 2011). Токсичне концентрације Cr у листовима из Делиблатске пешчаре биле су праћене високим садржајем Cr у ризосферном супстрату. Такође, стеља *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре имала је за 28.14% већи садржај Cr у односу на листове, док на депонији пепела и јаловишту азбеста та разлика између листова и стеље није била значајна. Садржај Cr у стељи *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре био је за 28.14% већи у односу на садржај у листовима, вероватно услед ремобилизације Cr у листове пред старење, механизма којим се биљке ослобађају вишка токсичних метала у својим ткивима и повећавају њихов садржај у стељи и супстрату (Himmelblau & Amasino,

2001; Waters & Grusak, 2008; Maillard *et al.*, 2015). Такође, веће концентрације Cr у стељи могу бити резултат и директне апсорпције овог елемента из супстрата (Windham *et al.*, 2004; Frey *et al.*, 2006; Scheid *et al.*, 2009).

**A. altissima.** Утицај *A. altissima* на садржај Cr у **супстрату** био је изражен на депонији пепела и кречњачком станишту, где је концентрација овог елемента била за 30.22%, односно за 21.20% већа у ризосферном супстрату у односу на контролни супстрат. Веће вредности Cr у ризосферном супстрату *A. altissima* на кречњачком станишту биле су праћене већим садржајем 3,5-ДНВА и 3-НВА у односу на контролни супстрат. На станишту Делиблатска пешчара, разлике у концентрацији Cr између контролног и ризосферног супстрата *A. altissima* биле су мале, указујући да на овом станишту ова биљна врста има слаб утицај на садржај Cr у супстрату.

Концентрација Cr у ризосферном супстрату *A. altissima* из Делиблатске пешчаре је била изнад просечних вредности за земљиште ( $66.90 - 73.80 \mu\text{g g}^{-1}$ ) ( $47 - 51 \mu\text{g g}^{-1}$ , Kabata-Pendias, 2011), а на депонији пепела се налазила у критичном опсегу ( $84.90 - 93.60 \mu\text{g g}^{-1}$ ) ( $75 - 100 \mu\text{g g}^{-1}$ , Alloway, 1990). На кречњачком станишту концентрација Cr је у контролном ( $219.40 - 223.60 \mu\text{g g}^{-1}$ ) и ризосферном супстрату ( $268.30 - 302.40 \mu\text{g g}^{-1}$ ) била изнад границе просечног и критичног опсега у земљишту, као и изнад граничне максималне вредности у Републици Србији ( $100 \mu\text{g g}^{-1}$ , Službeni glasnik, 2019).

**Листови** *A. altissima* са Делиблатске пешчаре ( $10.10 - 11.50 \mu\text{g g}^{-1}$ ), депоније пепела ( $2.85 - 3.91 \mu\text{g g}^{-1}$ ) и са кречњачког станишта ( $4.22 - 4.92 \mu\text{g g}^{-1}$ ) су се карактерисали концентрацијама Cr које су прелазиле границу токсичних вредности ( $5 - 30 \mu\text{g g}^{-1}$  токсичан опсег, Kabata-Pendias, 2011). Разлике у садржају Cr у листовима и **стељи** *A. altissima* из Делиблатске пешчаре и са кречњачког станишта нису биле значајне, док се на депонији пепела стеља карактерисала концентрацијама Cr за 50.59% већим него у листовима.

**A. fruticosa.** Врста *A. fruticosa* значајно може да утиче на повећање садржаја одређених хемијских елемената у ризосферном **супстрату** на различитим стаништима. Тако, на депонији пепела, где је ризосферни супстрат био богатији Cr за 23.86% у односу на контролни био је забележен и већи садржај 3-НВА и рутина. На алувијалном наносу Велике Мораве, контролни супстрат је имао веће вредности Cr за 14.37% у односу на ризосферни супстрат, док на Делиблатској пешчари те разлике нису биле значајне.

Концентрација Cr у ризосферном супстрату *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре била је изнад просечних вредности ( $65.30 - 74.60 \mu\text{g g}^{-1}$ ) ( $47 - 51 \mu\text{g g}^{-1}$ , Kabata-Pendias, 2011), а на депонији пепела била је у критичном опсегу ( $76.30 - 86 \mu\text{g g}^{-1}$ ) ( $75 - 100 \mu\text{g g}^{-1}$ , Alloway, 1990). На алувијалном наносу Велике Мораве, садржај Cr у контролном ( $10.90 - 11.80 \mu\text{g g}^{-1}$ ) и ризосферном супстрату ( $9.49 - 9.75 \mu\text{g g}^{-1}$ ) био је испод просечних вредности за земљиште. Код већине земљишта у природним условима, Cr се најчешће јавља у свом тровалентном облику (Mukherjee, 1998). Међутим, његово понашање у земљишту може бити модификовано присуством органске материје која стимулише редукују Cr<sup>6+</sup> у Cr<sup>3+</sup>, а на то може да утиче смањење рН супстрата (Wittbrodt & Palmer, 1996). Ова карактеристика Cr да се у нормалним земљишним условима лако редукује из растворљивог Cr<sup>6+</sup> у мање растворан Cr<sup>3+</sup> од великог је значаја, јер се на тај начин смањује количина Cr која је доступна биљкама.

Садржај Cr у **листовима** *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре ( $8.69 - 9.38 \mu\text{g g}^{-1}$ ) и са депоније пепела ( $10.20 - 11.80 \mu\text{g g}^{-1}$ ) био је изнад границе токсичног опсега у листовима ( $5 - 30 \mu\text{g g}^{-1}$  токсичан опсег, Kabata-Pendias, 2011). Листови *A. fruticosa* са депоније пепела су се карактерисали већом концентрацијом Cr за 13.56% у односу на **стељу**, док је ова разлика на станишту Делиблатска пешчара и алувијални нанос Велике Мораве била занемарљива. Могуће је да је *A. fruticosa* на алувијалном наносу

Велике Мораве усвајала овај елемент у већој мери, због релативно ниских концентрација у супстрату, што је условило већи садржај  $\text{Cr}$  у контролном супстрату у односу на ризосферни супстрат. Такође, веће вредности  $\text{Cr}$  у листовима *A. fruticosa* него у стељи потенцијално могу бити везане за реасорпцију  $\text{Cr}$  из листова пре опадања, као и мање стопе апсорпције  $\text{Cr}$  из супстрата у стељу, што је могло утицати на мање концентрације  $\text{Cr}$  у стељи.

#### 6.1.2.2. Утицај испитиваних биљних врста на садржај $\text{Cu}$ у супстрату и стељи на различитим стаништима

Бакар ( $\text{Cu}$ ) је есенцијални елемент за биљке. Бројне студије су се бавиле формама и понашањем  $\text{Cu}$  у биљкама, а све оне се могу објединити као следеће: 1)  $\text{Cu}$  углавном ствара комплексе са органским једињењима мале молекулске тежине, као и са протеинима; 2)  $\text{Cu}$  је структурна компонента ензима који имају виталну функцију у биљном метаболизму; 3)  $\text{Cu}$  има важну улогу у физиолошким процесима биљке (фотосинтеза, респирација, дистрибуција угљених хидрата, редукција и фиксација азота, метаболизам протеина и метаболизам ћелијског зида), 4)  $\text{Cu}$  утиче на пермеабилност ксилемских судова и контролише водни баланс; 5)  $\text{Cu}$  контролише синтезу ДНК и РНК, тако да његов недостатак инхибира репродукцију биљака (смањује продукцију семена и фертилност полена); 6)  $\text{Cu}$  има улогу у отпорности биљака на болести (Kabata-Pendias, 2011).

$\text{Cu}$  је слабо мобилан у земљишту, и његов укупни садржај се мало мења у земљишним профилима (углавном се акумулира у горњим хоризонтима). На мобилност  $\text{Cu}$  утичу органске материје у земљишту, рН и укупан садржај  $\text{Cu}$  у земљишту (Kabata-Pendias, 2011). рН земљишта има важну улогу у доступности  $\text{Cu}$  и његове токсичности на биљке. Када је укупна концентрација  $\text{Cu}$  у земљишту између  $25 - 40 \mu\text{g g}^{-1}$  (рН испод 5.5), тада ниво  $\text{Cu}^{2+}$  у земљишном раствору може бити токсичан за већину виших биљака (Baker *et al.*, 1994). Повећан садржај органске материје, као и  $\text{Fe}$ ,  $\text{Mo}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{Al}$ ,  $\text{P}$  и  $\text{Zn}$ , могу да утичу на смањење растворљивости и доступности  $\text{Cu}$  (Kastori, 1993).

***R. pseudoacacia***. Утицај *R. pseudoacacia* на садржај  $\text{Cu}$  у супстрату био је изражен на депонији пепела и јаловишту азбеста, где се ризосферни супстрат карактерисао за 25.99%, односно за 9.72% већом концентрацијом  $\text{Cu}$  у односу на контролни супстрат. На депонији пепела је већи садржај  $\text{Cu}$  у ризосферном супстрату био праћен већим вредностима рН ( $\text{H}_2\text{O}$ ), рН ( $\text{KCl}$ ), ферулинске киселине и рутина.

На Делиблатској пешчари су разлике у садржају  $\text{Cu}$  између контролног и ризосферног супстрата биле занемарљиве. Садржај  $\text{Cu}$  у контролном и ризосферном супстрату из Делиблатске пешчаре ( $7.25 - 7.43 \mu\text{g g}^{-1}$ ,  $7.14 - 8.95 \mu\text{g g}^{-1}$ ) и депоније пепела ( $15.90 - 16.60 \mu\text{g g}^{-1}$ ,  $18.90 - 25.10 \mu\text{g g}^{-1}$ ) био је у оквирима просечних вредности за земљиште ( $13 - 23 \mu\text{g g}^{-1}$ , Kabata-Pendias, 2011), док је на јаловишту азбеста тај садржај у контролном и ризосферном супстрату ( $30 - 31.30 \mu\text{g g}^{-1}$ ,  $26.29 - 28.50 \mu\text{g g}^{-1}$ ) био изнад просечних вредности ( $13 - 23 \mu\text{g g}^{-1}$ , Kabata-Pendias, 2011).

**Листови** *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре ( $6.64 - 7.85 \mu\text{g g}^{-1}$ ) и јаловиша азбеста ( $7.25 - 8.60 \mu\text{g g}^{-1}$ ) су се карактерисали нормалним садржајем  $\text{Cu}$  ( $5 - 30 \mu\text{g g}^{-1}$ , Kabata-Pendias & Pendias, 2001). На депонији пепела и јаловишту азбеста **стеља** је имала концентрацију  $\text{Cu}$  за 50.59%, односно за 24.48% већу него у листовима. Значајно веће концентрације  $\text{Cu}$  у стељи у односу на листове *R. pseudoacacia* са депоније пепела вероватно могу бити резултат апсорпције  $\text{Cu}$  из супстрата у стељу (Scheid *et al.*, 2009), док је на јаловишту азбеста поред дифузије из супстрата могуће да се преко листова ослобађа вишак  $\text{Cu}$  из биљке (Maillard *et al.*, 2015).

***A. altissima***. Утицај *A. altissima* на садржај  $\text{Cu}$  у **супстрату** изражен је на сва три испитивана станишта – концентрација  $\text{Cu}$  била је већа у ризосферном супстрату из Делиблатске пешчаре, депоније пепела и кречњачког станишта за 31.19%, 23.34%, односно 31.09% у односу на контролни супстрат. Већи садржај  $\text{Cu}$  у ризосферном него у контролном супстрату вероватно може бити резултат повећаног усвајања  $\text{Cu}$  кореновима, његове транслокације у листове и његовог даљег враћања у ризосферу кроз минерализацију стеље. Веће концентрације  $\text{Cu}$  у ризосферном супстрату *A. altissima* у односу на контролни биле су праћене већим вредностима 3,5-DHBA и 3-NBA.

Садржај  $\text{Cu}$  у ризосферном супстрату *A. altissima* из Делиблатске пешчаре ( $9.85 - 11.80 \mu\text{g g}^{-1}$ ) био је испод просечних вредности, док је на депонији пепела био у оквиру просечних вредности за земљиште ( $19.90 - 22.80 \mu\text{g g}^{-1}$ ) ( $13 - 23 \mu\text{g g}^{-1}$ , Kabata-Pendias, 2011). На кречњачком станишту је садржај  $\text{Cu}$  у контролном супстрату био у оквиру просечних вредности ( $19.90 - 21.50 \mu\text{g g}^{-1}$ ), а у ризосферном супстрату изнад просечних вредности ( $24.40 - 35.50 \mu\text{g g}^{-1}$ ) ( $13 - 23 \mu\text{g g}^{-1}$ , Kabata-Pendias, 2011). Мобилност  $\text{Cu}$  зависи и од карактеристика минералне фракције земљишта, те тако је садржај карбоната у позитивној корелацији са тоталним садржајем  $\text{Cu}$ , а у негативној корелацији са мобилном фракцијом  $\text{Cu}$ , што је посебно значајно за земљишта настала на кречњачким геолошким подлогама (Brunetti *et al.*, 2009).

Концентрација  $\text{Cu}$  у **листовима** *A. altissima* из Делиблатске пешчаре, депоније пепела и са кречњачког станишта била је у опсегу нормалног садржаја овог елемента у листовима ( $8.69 - 9.38 \mu\text{g g}^{-1}$ ,  $7.86 - 9.69 \mu\text{g g}^{-1}$ ,  $7.25 - 8.60 \mu\text{g g}^{-1}$ ) ( $5 - 30 \mu\text{g g}^{-1}$ , Kabata-Pendias, 2011). **Стеља** *A. altissima* из Делиблатске пешчаре, депоније пепела и кречњачког станишта имала је садржај  $\text{Cu}$  који је био за 17.44%, 30.32%, односно 15.14% већи него у листовима, вероватно услед аспорпције  $\text{Cu}$  из супстрата у стељу (Windham *et al.*, 2004; Frey *et al.*, 2006; Scheid *et al.*, 2009).

***A. fruticosa***. На депонији пепела је концентрација  $\text{Cu}$  била за 26.06% већа у ризосферном **супстрату** у односу на контролни супстрат, вероватно услед ремобилизације овог елемента у листове и стељу и повећања његовог садржаја коренским ексудатима (Dakora & Phillips, 2002; Waters & Grusak, 2008; Maillard *et al.*, 2015). На алувијалном наносу Велике Мораве, контролни супстрат имао је концентрацију  $\text{Cu}$  8.63% већу у односу на ризосферни супстрат, вероватно услед повећаног усвајања  $\text{Cu}$  кореновима и његовог даљег враћања кроз минерализацију стеље.

Концентрације  $\text{Cu}$  у ризосферном супстрату *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре ( $6.83 - 9.11 \mu\text{g g}^{-1}$ ) била је испод просечних вредности, док је у ризосферном супстрату на депонији пепела ( $18.80 - 25.40 \mu\text{g g}^{-1}$ ) и контролном и ризосферном супстрату са алувијалног наноса Велике Мораве ( $19.20 - 20 \mu\text{g g}^{-1}$ ,  $17.40 - 18.10 \mu\text{g g}^{-1}$ ) била у просечном опсегу ( $13 - 23 \mu\text{g g}^{-1}$ , Kabata-Pendias, 2011).

Садржај  $\text{Cu}$  у **листовима** *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре, депоније пепела и алувијалног наноса Велике Мораве био је у нормалном опсегу за биљке ( $6.37 - 7.12 \mu\text{g g}^{-1}$ ,  $8.88 - 11.80 \mu\text{g g}^{-1}$ ,  $10.10 - 11.40 \mu\text{g g}^{-1}$ ) ( $5 - 30 \mu\text{g g}^{-1}$ , Kabata-Pendias, 2011). Садржај  $\text{Cu}$  у **стељи** *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре био је за 23.54% већи у односу на листове, вероватно услед акумулације и ремобилизације  $\text{Cu}$  у листовима пре самог опадања и апсорпције овог елемента из супстрата (Scheid *et al.*, 2009). Смањена мобилност и доступност  $\text{Cu}$  биљкама се обично везује за слабо базну реакцију земљишта, велику количину карбоната, минерала глине и доминацију слабо растворних органских киселина (Kumpiene *et al.*, 2008; Kabata-Pendias, 2011).

### 6.1.2.3. Утицај испитиваних биљних врста на садржај Fe у супстрату и стељи на различитим стаништима

Просечна заступљеност гвожђа (Fe) у земљиштима је 3.5% и она расте са појавом тешких иловача и земљишта богатих органском материјом. У земљишним хоризонтима који су богати органским материјама Fe се јавља у хелатним формама (Branković, 2015). Земљишта настала на серпентинској геолошкој подлози садрже Fe у великим концентрацијама (Ghaderian *et al.*, 2007). Такође, песак поред кварца и калцита садржи и феромагнезијумове минерале, а црвена боја кречњака потиче од великог присуства Fe у гвожђевитим кречњацима (Branković, 2015). Под условима који постоје у већини земљишта, Fe је у земљишту слабо покретан и показује тенденцију да формира органске комплексе и хелате. Јони Fe се не усвајају директно из раствора, већ из комплекса са органским једињењима (Branković, 2015). Доступност Fe за биљке зависи од бројних фактора од којих су кључни карактеристике земљишта и метаболизам биљака који контролише његову доступност посредством различитих секреција биљака, тако да се са повећањем киселости повећава и концентрација Fe<sup>3+</sup> (Miyuama *et al.*, 2005).

**R. pseudoacacia.** Утицај *R. pseudoacacia* на садржај Fe у супстрату био је изражен на депонији пепела, код којег је ризосферни супстрат имао за 15.59% већу концентрацију Fe у односу на контролни супстрат. Већи садржај Fe у ризосферном супстрату *R. pseudoacacia* у односу на контролни супстрат био је праћен већим вредностима pH (H<sub>2</sub>O) и pH (KCl), као и већим концентрацијама ферулинске киселине и рутина. На станишту Делиблатска пешчара и јаловишту азбеста утицај *R. pseudoacacia* на садржај Fe у супстрату није био значајан. Садржај Fe у стељи *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре, депоније пепела и јаловишта азбеста био је значајно већи него у листовима (31.58%, 33.46% и 6.96%). Значајно већи садржај Fe у листовима *R. pseudoacacia* са јаловишта азбеста у односу на Делиблатску пешчару и депонију пепела је очекивани резултат, јер биљке која расту на серпентинским подлогама, као што је азбест, имају веома високе концентрације Fe у својим ткивима (до 3580 µg g<sup>-1</sup>, Johnston & Proctor, 1977).

**A. altissima.** Утицај *A. altissima* на садржај Fe на депонији пепела и кречњачком станишту био је значајан. Ризосферни супстрат *A. altissima* се карактерисао за 8.12%, односно за 28.13% већим концентрацијама Fe у односу на контролни супстрат. Већи садржај Fe у ризосферном супстрату кречњачког станишта био је праћен већим вредностима фенолних киселина (3,5-ДНВА и 3-НВА). Значајно веће концентрације Fe имали су листови *A. altissima* са кречњачког станишта у односу на листове из Делиблатске пешчаре и депоније пепела. Садржај Fe у стељи *A. altissima* из Делиблатске пешчаре и депоније пепела био је за 18.34%, односно за 27.93% већи него у листовима, вероватно услед апсорпције Fe из супстрата у стељу (Frey *et al.*, 2006; Scheid *et al.*, 2009).

**A. fruticosa.** Утицај *A. fruticosa* на садржај Fe у супстрату варирао је у зависности од станишта. Тако, у Делиблатској пешчари и на алувијалном наносу Велике Мораве, контролни супстрат имао је веће вредности Fe у односу на ризосферни, и то за 15.08%, односно за 17.66%. Већи садржај Fe у контролном супстрату из Делиблатске пешчаре у односу на ризосферни супстрат може бити повезан са већим вредностима *n*-кумаринске киселине и 3-НВА. Међутим, на депонији пепела, ризосферни супстрат *A. fruticosa* имао је већу концентрацију Fe, која је била за 21.76% већа у односу на контролни супстрат, што је било праћено већим садржајем 3-НВА и рутина. Садржај Fe у листовима и стељи *A. fruticosa* са алувијалног наноса Велике Мораве био је значајно већи у односу на листове и стељу из Делиблатске пешчаре и

депоније пепела. Концентрација Fe у **стељи** *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре и депоније пепела била је за 33.42%, односно за 38.94% већа него у листовима, вероватно услед апсорпције Fe из супстрата (Frey *et al.*, 2006; Scheid *et al.*, 2009).

#### 6.1.2.4. Утицај испитиваних биљних врста на садржај Mn у супстрату и стељи на различитим стаништима

Манган (Mn) је микроелемент који је есенцијалан за нормално одвијање метаболичких процеса код биљака, где је као компонента ензима укључен у фотосинтезу и друге физиолошке процесе (Mousavi *et al.*, 2011). Садржај Mn у Земљиној кори може да буде и до  $900 \mu\text{g g}^{-1}$  (Reimann & de Caritat, 1998), док његов садржај у земљиштима широм света варира од  $411 - 550 \mu\text{g g}^{-1}$  (Kabata-Pendias, 2011). Биљке из земљишта кореном лако усвајају Mn и транспортују га у листове (Kabata-Pendias, 2011). У условима алкалне средине  $\text{Mn}(\text{OH})_4$  и  $\text{MnO}_2$  са осталим тешким металима (Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Ba, Ti, W и Mo) могу да граде нерастворна једињења (Bartlett, 1986). Са смањењем pH растворљивост Mn расте, тако да у добро исушеним земљиштима, при  $\text{pH} < 5.5$  садржај доступног Mn може достићи токсичан ниво (Foy *et al.*, 1988). Оксиди мангана се одликују великим афинитетом везивања хемијских елемената, као што су: As, Se, Cu, Zn и Mo, и са њима формирају стабилне комплексе (Bartlett, 1986; Kabata-Pendias, 2011). Високе концентрације Mn су повезане са већим садржајем глине и количине органске супстанце, због чега су концентрације Mn веће на иловачи, а мање на песковитом земљишту (Kabata-Pendias, 2011).

***R. pseudoacacia***. Утицај *R. pseudoacacia* на садржај Mn није био значајан на Делиблатској пешчари и депонији пепела, док је на јаловишту азбеста концентрација Mn у ризосферном **супстрату** *R. pseudoacacia* била за 11.89% мања у односу на контролни супстрат. Мањи садржај Mn у ризосферном супстрату може бити повезан за његово повећано усвајање од стране саме биљне врсте, јер је у условима високе алкалности доступност Mn смањена (Bartlett, 1986).

Садржај Mn је у контролном и ризосферном супстрату *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре ( $106.10 - 108.70 \mu\text{g g}^{-1}$ ,  $84.90 - 114.80 \mu\text{g g}^{-1}$ ) и депоније пепела ( $182.90 - 286.40 \mu\text{g g}^{-1}$ ,  $169 - 205.90 \mu\text{g g}^{-1}$ ) био је испод просечног опсега за земљиште ( $270 - 525 \mu\text{g g}^{-1}$ , Kabata-Pendias, 2011), док је на јаловишту азбеста био у оквиру просечних вредности ( $448.50 - 451 \mu\text{g g}^{-1}$ ,  $383.40 - 417.50 \mu\text{g g}^{-1}$ ) ( $270 - 525 \mu\text{g g}^{-1}$ , Kabata-Pendias, 2011).

Концентрације Mn у **листовима** *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре, са депоније пепела и јаловишта азбеста биле су у нормалном опсегу ( $29.10 - 33.80 \mu\text{g g}^{-1}$ ,  $51 - 53.10 \mu\text{g g}^{-1}$ ,  $74.30 - 79.60 \mu\text{g g}^{-1}$ ) ( $30 - 300 \mu\text{g g}^{-1}$ , Kabata-Pendias, 2011). **Стеља** *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре, депоније пепела и јаловишта азбеста имала је концентрацију Mn већу за 33.64%, 31.22%, односно за 20.51% у односу на листове. Резултати указују да се вишак Mn може ослободити преко опалих листова на крају сезоне и да Mn може лако да дифундује у стељу из супстрата (Scheid *et al.*, 2009), што је било нарочито изражено на јаловишту азбеста и депонији пепела, где су измерене веће концентрације Mn у супстрату.

***A. altissima***. Утицај *A. altissima* на садржај Mn у **супстрату** на испитиваним стаништима није био значајан, јер су разлике у његовој концентрацији између контролног и ризосферног супстрата са испитиваних станишта биле мале.

Садржај Mn у ризосферном супстрату *A. altissima* из Делиблатске пешчаре ( $114.20 - 135.20 \mu\text{g g}^{-1}$ ) и депоније пепела ( $155.90 - 185.40 \mu\text{g g}^{-1}$ ) био је испод просечних вредности за земљиште ( $270 - 525 \mu\text{g g}^{-1}$ , Kabata-Pendias, 2011), док је на кречњачком станишту садржај Mn у контролном и ризосферном супстрату ( $1155 -$

1193.50  $\mu\text{g g}^{-1}$ , 931 – 1298.80  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) био изнад просечних вредности и близу критичног опсега (270 – 525  $\mu\text{g g}^{-1}$  просечан опсег, Kabata-Pendias, 2011; 1500 – 3000  $\mu\text{g g}^{-1}$  критичан опсег, Alloway, 1990). Тако је висок садржај Mn забележен у иловачама и кречњачким земљиштима, у земљиштима насталим на базичним стенама, у земљиштима богатим Fe и/или органским материјама, као и земљиштима из сушних области (Kabata-Pendias, 2011).

**Листови** *A. altissima* из Делиблатске пешчаре и са депоније пепела имале су дефицитан садржај Mn (15.40 – 17.20  $\mu\text{g g}^{-1}$ , 19 – 23.40  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) (10 – 30  $\mu\text{g g}^{-1}$ , Kabata-Pendias, 2011). Истраживања различитих аутора су показала да биљке које расту на депонијама пепела имају наглашен проблем дефицита овог елемента у ткивима (Carlson & Adriano, 1991; Mitrović *et al.*, 2008, Gajić *et al.*, 2016; Gajić *et al.*, 2020). Дефицит Mn доводи до смањења садржаја лигнина у биљним ткивима, које је много израженије на нивоу корена, што може утицати на смањену отпорност корена биљака на гљивичне инфекције (Anderson & Pyliotis, 1996). На доступност Mn биљкама утиче pH, садржај органске материје, влажност и аерација супстрата (Kabata-Pendias, 2011). Поред тога, хемијско понашање Mn веома је слично понашању Ca и Mg, као и Zn и Fe, тако да повећано присуство ових јона може утицати на смањено усвајање и транспорт Mn у биљкама и и може довести до његовог дефицита (Kabata-Pendias, 2011; Aref, 2011). Садржај Mn у листовима *A. altissima* са кречњачког станишта био је у нормалном опсегу за овај елемент (51.20 до 59.90  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) (30 – 300  $\mu\text{g g}^{-1}$ , Kabata-Pendias, 2011). **Стеља** *A. altissima* из Делиблатске пешчаре, депоније пепела и кречњачког станишта имала је вредности Mn веће за 27.24%, 42.94%, односно за 13.34% у односу на листове *A. altissima*, вероватно услед апсорпције овог елемента из супстрата (Frey *et al.*, 2006; Scheid *et al.*, 2009).

***A. fruticosa***. Утицај *A. fruticosa* на садржај Mn у супстрату није био значајан на испитиваним стаништима. Концентрација Mn у ризосферном супстрату *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре и депоније пепела (94 – 122.70  $\mu\text{g g}^{-1}$ , 170.30 – 198.20  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) је била испод просечног опсега за земљиште, док је на алувијалном наносу Велике Мораве, концентрација Mn у контролном и ризосферном супстрату била изнад просечних вредности за земљиште (613.30 – 622.90  $\mu\text{g g}^{-1}$ , 590.10 – 598.30  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) (270 – 525  $\mu\text{g g}^{-1}$ , Kabata-Pendias, 2011).

Концентрација Mn у листовима *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре, са депоније пепела и алувијалног наноса Велике Мораве била је у нормалном опсегу (51.40 – 55  $\mu\text{g g}^{-1}$ , 70.30 – 74.10  $\mu\text{g g}^{-1}$ , 116 – 128.40  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) (30 – 300  $\mu\text{g g}^{-1}$ , Kabata-Pendias, 2011). На Делиблатској пешчари и депонији пепела је концентрација Mn била већа у **стељи** односу на листове, и то за 16.81%, односно за 23.63%, вероватно као резултат апсорпције Mn из супстрата у стељу. На алувијалном наносу Велике Мораве листови су имали веће концентрације Mn у односу на стељу (за 12.43%), вероватно услед веће акумулације овог есенцијалног елемента у листовима *A. fruticosa*.

#### 6.1.2.5. Утицај испитиваних биљних врста на садржај Ni у супстрату и стељи на различитим стаништима

Никл (Ni) спада у групу есенцијалних микроелемената (Marschner, 1995), који као саставни део многих ензима има важну улогу у различитим метаболичким процесима, без кога биљке не би могле успешно да заврше свој животни циклус (Chen *et al.*, 2009). Прва истраживања којима је утврђено да Ni учествује у структури ензима уреазе указивало је на могућу улогу Ni у метаболизму азота (Dixon *et al.*, 1975). Важну улогу Ni у метаболизму N код легуминозних биљака потврдила су истраживања Eskew *et al.* (1984), да би каснија истраживања Brown *et al.* (1987) потврдила важну улогу овог

елемента и код других биљних фамилија. Садржај Ni у земљишту зависи од његовог садржаја у матичној стени, али и од педогенетских процеса и антропогене активности. Земљишта широм света садрже Ni у широком опсезима, међутим његова концентрација је процењена на 13 – 37  $\mu\text{g g}^{-1}$  (Kabata-Pendias, 2011). Његов укупни садржај у земљишту Србије варира од 4 до 500  $\mu\text{g g}^{-1}$ , а у земљиштима са већим садржајем песка и креча његов је садржај испод 50  $\mu\text{g g}^{-1}$ . У земљиштима Војводине његов просечан садржај процењен је на 14.77  $\mu\text{g g}^{-1}$ , а варира у опсегу од 1.78 – 62.66  $\mu\text{g g}^{-1}$  (Kastori, 1993; Dozet *et al.*, 2011).

**R. pseudoacacia.** *R. pseudoacacia* је на садржај Ni у супстрату имала релативно мали утицај, нарочито на Делиблатској пешчари и депонији пепела. На јаловишту азбеста је садржај Ni у ризосферном супстрату је био за 6.86% већи у односу на контролни супстрат.

Садржај Ni у контролном и ризосферном супстрату *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре (35.90 - 37  $\mu\text{g g}^{-1}$ , 30.90 – 35.60  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) и на депонији пепела (71.90 – 72.40  $\mu\text{g g}^{-1}$ , 67.60 – 82.40  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) је био изнад просечних вредности (13 – 26  $\mu\text{g g}^{-1}$ , Kabata-Pendias, 2011), и граничних максималних вредности за Републику Србију (35  $\mu\text{g g}^{-1}$ , Službeni glasnik, 2019). На јаловишту азбеста је садржај Ni у контролном и ризосферном супстрату *R. pseudoacacia* (582.10 – 585.10  $\mu\text{g g}^{-1}$ , 612.20 – 640.50  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) прелазео просечне и критичне вредности (13 – 26  $\mu\text{g g}^{-1}$  просечни опсег, Kabata-Pendias, 2011; 100  $\mu\text{g g}^{-1}$  критични опсег, Alloway, 1990), као и ремедијациону вредност за Републику Србију (210  $\mu\text{g g}^{-1}$ , Službeni glasnik, 2019). Ghaderian *et al.* (2007) наводе да је концентрација Ni у серпентинским земљиштима у границама 500 – 8000  $\mu\text{g g}^{-1}$ , што се слаже са резултатима добијеним на јаловишту азбеста.

Концентрација Ni у листовима *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре, са депоније пепела и јаловишта азбеста била је токсична (21 – 25.90  $\mu\text{g g}^{-1}$ , 41.50 – 48  $\mu\text{g g}^{-1}$ , 28.40  $\mu\text{g g}^{-1}$  – 32.90  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) (10 – 100  $\mu\text{g g}^{-1}$ , Kabata-Pendias, 2011), што је нарочито било изражено на депонији пепела. Разлика у садржају Ni између листова и стеље *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре и са депоније пепела није била значајна. Листови *R. pseudoacacia* са јаловишта азбеста имали су за 27.49% већу концентрацију Ni него стеља. Неке биљке које расту на серпентинским земљиштима у листовима акумулирају око 10-100  $\mu\text{g g}^{-1}$  Ni (у поређењу са биљкама које расту на „нормалним“ земљиштима садрже око 0.2-5  $\mu\text{g g}^{-1}$  Ni), чак и преко 6000  $\mu\text{g g}^{-1}$  ако су хиперакумулатори (Reeves, 1992; Ghaderian *et al.*, 2007).

**A. altissima.** Утицај *A. altissima* на садржај Ni у супстрату био је значајан на станишту Делиблатска пешчара, као и на кречњачком станишту, јер је концентрација Ni у ризосферном супстрату била за 16.56%, односно за 18.04% већа, што се може повезати са већим садржајем 3,5-DHBA и рутина. У земљиштима са већим садржајем органске материје, Ni је у површинским слојевима присутан у виду органски везаних форми од којих део могу бити лако растворљиви хелати, те органска материја може лако да мобилише Ni из карбоната и оксида и смањи сорпцију Ni на честицама глине образујући органске лиганде у којима Ni није тако чврсто везан, што га у чини веома мобилним (Bloomfield, 1981).

Садржај Ni у ризосферном супстрату *A. altissima* из Делиблатске пешчаре (40.30 – 48.20  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) био је изнад просечних вредности (13 – 26  $\mu\text{g g}^{-1}$ , Kabata-Pendias, 2011). На депонији пепела (69.10 – 81.20  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) и кречњачком станишту (103 – 105.80  $\mu\text{g g}^{-1}$ , 124.30 – 129.10  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) концентрација Ni је била изнад просечних и критичних вредности за земљиште (13 – 26  $\mu\text{g g}^{-1}$  просечни опсег, Kabata-Pendias, 2011; 100  $\mu\text{g g}^{-1}$  критичан опсег, Alloway, 1990).

**Листови** *A. altissima* из Делиблатске пешчаре имали су нормалне концентрације Ni (3.06 – 3.25  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) (0.1 – 5  $\mu\text{g g}^{-1}$  нормалан садржај, Kabata-Pendias, 2011), док је



садржај овог елемента на депонији пепела и кречњачком станишту био изнад просечних вредности, али не и токсичан ( $7.33 - 7.88 \mu\text{g g}^{-1}$ ,  $5.25 - 5.71 \mu\text{g g}^{-1}$ ) ( $0.1 - 5 \mu\text{g g}^{-1}$  нормалан садржај,  $10 - 100 \mu\text{g g}^{-1}$  токсичан садржај, Kabata-Pendias, 2011). Констатоване су мале разлике у садржају Ni између листова и **стеље** *A. altissima* на станишту Делиблатска пешчара и кречњачком станишту. На депонији пепела је концентрација Ni у стељи била 8.50% већа него у листовима, вероватно услед апсорпције Ni из супстрата (Frey *et al.*, 2006; Scheid *et al.*, 2009), или ремобилизације Ni у листове пре опадања, што може да повећа садржај овог елемента у стељи (Maillard *et al.*, 2015).

*A. fruticosa*. Утицај *A. fruticosa* на садржај Ni у **супстрату** био је благо изражен на депонији пепела, јер је ризосферни супстрат имао за 7.58% већу концентрацију Ni у односу на контролни супстрат, док је на Делиблатској пешчари и алувијалном наносу Велике Мораве та разлика била занемарљива. Већи садржај Ni у ризосферном супстрату *A. fruticosa* са депоније пепела може да буде повезан са већим садржајем 3-НВА и рутина, што може бити последица ниже вредности рН, јер растворљивост Ni расте са повећањем киселости супстрата и повећањем садржаја органске материје у супстрату (Bloomfield, 1981; Kostić, 2014). Садржај Ni у ризосферном супстрату *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре био је изнад просечних вредности ( $30.40 - 38.40 \mu\text{g g}^{-1}$ ) ( $13 - 26 \mu\text{g g}^{-1}$ , Kabata-Pendias, 2011), док је на депонији пепела био и изнад граничне максималне вредности за Републику Србију ( $73.30 - 83.40 \mu\text{g g}^{-1}$ ) ( $35 \mu\text{g g}^{-1}$ , Službeni glasnik, 2019). На алувијалном наносу Велике Мораве је садржај Ni у контролном и ризосферном супстрату ( $133.40 - 135.90 \mu\text{g g}^{-1}$ ,  $124.90 - 126.40 \mu\text{g g}^{-1}$ ) био изнад граничне максималне вредности за Републику Србију ( $50 \mu\text{g g}^{-1}$ , Službeni glasnik, 2019) и изнад критичних вредности за земљиште ( $100 \mu\text{g g}^{-1}$ , Alloway, 1990).

Садржај Ni у **листовима** *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре био је у оквиру нормалног опсега ( $3.98 - 4.68 \mu\text{g g}^{-1}$ ) ( $0.1 - 5 \mu\text{g g}^{-1}$ , Kabata-Pendias, 2011), на депонији пепела изнад нормалног опсега ( $9.06 - 9.46 \mu\text{g g}^{-1}$ ), док је на алувијалном наносу Велике Мораве био благо токсичан ( $10.04 - 10.80 \mu\text{g g}^{-1}$ ) ( $10 - 100 \mu\text{g g}^{-1}$ , Kabata-Pendias, 2011). На испитиваним стаништима, разлике у садржају Ni између листова и **стеље** *A. fruticosa* биле су занемарљиве.

#### 6.1.2.6. Утицај испитиваних биљних врста на садржај Zn у супстрату и стељи на различитим стаништима

Цинк (Zn) представља есенцијални хемијски елемент за биљке, за који је утврђено да делује као каталитички или структурни кофактор великог броја ензима и регулаторних протеина (Marschner, 1995). Заједно са Fe, Zn је једини метал који улази у састав свих шест главних класа ензима: оксидоредуктаза, трансфераза, хидролаза, лиаза, изомераза и лигаза (Broadley *et al.*, 2007). Zn је укључен у метаболизам протеина, нуклеинских киселина, угљених хидрата и липида (Broadley *et al.*, 2007; Ishimaru *et al.*, 2011), штити ћелије биљака од оксидативног стреса (Cakmak, 2000) и може да делује као унутарћелијски сигнални молекул (Yamasaki *et al.*, 2007). Дефицит цинка се манифестује повећаном продукцијом реактивних врста кисеоника услед смањене активности Cu/ZnSOD и карбон анхидразе, инхибиције синтезе протеина, оштећења мембранских протеина и хлорофила, инхибиције процеса фотосинтезе, хлороза листова и смањеног раста биљака (Marschner, 1995; Cakmak, 2000). На концентрацију Zn у земљишту утиче матична стена, процеси педогенезе и органске материје у земљишту. Zn формира комплексе са неорганским и органским лигандима, што може да утиче на реакције његове адсорпције у површинском слоју земљишта (McLean, 1992). При алкализацији земљишта Zn се таложи у облику хидроксида  $\text{Zn}(\text{OH})_2$ , а затим даљом

алкализацијом образују се цинкати, тако да је његов недостатак запажен у алкалним земљиштима и земљиштима са већим садржајем P и Fe (Kastori, 1993). Средња концентрација Zn у земљиштима широм света варира од 60 – 80  $\mu\text{g g}^{-1}$  (Kabata-Pendias, 2011). Према неким ауторима концентрација Zn у земљиштима варира од 10 – 300  $\mu\text{g g}^{-1}$  (Montilla *et al.*, 2003). Укупни садржај Zn у земљиштима широм Србије се креће од 5 – 1070  $\mu\text{g g}^{-1}$ , а у земљиштима Војводине утврђен је просечни садржај Zn од 60.32  $\mu\text{g g}^{-1}$  (Kastori, 1993).

**R. pseudoacacia.** На Делиблатској пешчари и депонији пепела садржај Zn у ризосферном супстрату *R. pseudoacacia* је био већи у односу на контролни супстрат, и то за 18.09%, односно за 24.62%. Веће вредности Zn у ризосферном у односу на контролни супстрат из Делиблатске пешчаре биле су праћене већим садржајем 3,5-ДНВА. На депонији пепела повећање Zn у ризосферном супстрату пратиле су веће вредности ферулинске киселине и рутина у односу на контролни супстрат. На јаловишту азбеста разлике у концентрацији Zn између контролног и ризосферног супстрата нису биле значајне.

Концентрација Zn у контролном и ризосферном супстрату *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре (19 – 20.20  $\mu\text{g g}^{-1}$ , 21.40 – 25.50  $\mu\text{g g}^{-1}$ ), депоније пепела (11 – 11.80  $\mu\text{g g}^{-1}$ , 13 – 16.80  $\mu\text{g g}^{-1}$ ), док је на јаловишту азбеста тај садржај у листовима (36.90 – 38.10  $\mu\text{g g}^{-1}$ , 33 – 41.20  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) била је испод просечних вредности за Zn у земљишту (45 – 60  $\mu\text{g g}^{-1}$ , Kabata-Pendias, 2011). Концентрација Zn је повезана са земљишном текстуром, тако да је његов садржај низак у лаким песковитим земљиштима (Branković, 2015), што је било у сагласности са добијеним резултатима.

**Листови R. pseudoacacia** из Делиблатске пешчаре и са депоније пепела имали су дефицитарне концентрације Zn (12.80 – 18.10  $\mu\text{g g}^{-1}$ , 14.90 – 16.60  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) (10 – 20  $\mu\text{g g}^{-1}$ , Kabata-Pendias, 2011), док је на јаловишту азбеста садржај Zn у листовима *R. pseudoacacia* био у нормалном опсегу (31 – 34.80  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) (27 – 150  $\mu\text{g g}^{-1}$ , Kabata-Pendias, 2011). Дефицит Zn код биљака може се везати за смањену доступност овог елемента у условима веће алкалности супстрата (Carlson *et al.*, 1991), што се слагало са резултатима добијеним у овој докторској дисертацији. Биљке које расту у базним, заслањеним и често плављеним супстратима, са малим садржајем органске материје и високим садржајем песка, фосфора, Cu, и Fe, често могу показивати симптоме дефицита Zn (Hafeez *et al.*, 2013). При недостатку Zn долази до непотпуне оксидације протеина, што изазива накупљање полифенола, фитосеротина и лецитина у биљним вакуолама (Sarić, 1983). **Стеља** и листови *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре имали су приближно исте концентрације Zn. На депонији пепела и јаловишту азбеста, концентрација Zn у стељи била је за 24.78%, односно 19.54% већа него у листовима, што вероватно може бити узроковано дифузијом Zn из супстрата у стељу (Frey *et al.*, 2006; Scheid *et al.*, 2009).

**A. altissima.** Садржај Zn у супстрату био је под значајним утицајем *A. altissima*. Тако су веће концентрације овог елемента биле измерене у ризосферном супстрату у односу на контролни супстрат из Делиблатске пешчаре (38.75%), депоније пепела (24.27%) и кречњачког станишта (11.39%). Већи садржај Zn у ризосферном супстрату у односу на контролни супстрат може бити повезан са већим вредностима 3,5-ДНВА и рутина у Делиблатској пешчари и већим вредностима 3,5-ДНВА и 3-НВА на кречњачком станишту. Концентрација Zn у ризосферном супстрату *A. altissima* из Делиблатске пешчаре (30.30 – 33.50  $\mu\text{g g}^{-1}$ ), депоније пепела (13 – 16.80  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) и контролном и ризосферном супстрату са кречњачког станишта (34.90 – 36.70  $\mu\text{g g}^{-1}$ , 35.40 – 44.10  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) била је испод просечних вредности за земљиште (45 – 60  $\mu\text{g g}^{-1}$ , Kabata-Pendias, 2011).

**Листови** *A. altissima* из Делиблатске пешчаре, са депоније пепела и јаловишта азбеста имали су нормалне концентрације Zn ( $26.10 - 30.10 \mu\text{g g}^{-1}$ ,  $29 - 34.10 \mu\text{g g}^{-1}$ ,  $33.80 - 35 \mu\text{g g}^{-1}$ ) ( $27 - 150 \mu\text{g g}^{-1}$ , Kabata-Pendias, 2011). На станишту Делиблатска пешчара и депонија пепела, концентрација Zn у **стељи** била је за 28.84%, односно за 19.13% већа него у листовима *A. altissima*, док су на кречњачком станишту ове разлике биле занемарљиве. Нека истраживања су показала да се метали могу концентровати у стељи, а нарочито Zn (Laskowski & Berg, 1993; Lomander & Johansson, 2001), што је било у складу са резултатима добијеним у овој дисертацији.

***A. fruticosa***. На станишту Делиблатска пешчара и депонија пепела, утицај *A. fruticosa* на садржај Zn у **супстрату** био је изражен је кроз већу концентрацију овог елемента у ризосферном супстрату у односу на контролни супстрат, и то за 22.17%, односно 36.78%. На депонији пепела већа концентрација Zn у ризосферном супстрату је била праћена већим вредностима 3-НВА и рутина у односу на контролни супстрат. При рН изнад 6 доступност Zn се смањује да би минимум достигла при рН од 8 до 10 (Kim & Hesbach, 2009). На алувијалном наносу Велике Мораве не може се тврдити да *A. fruticosa* утиче на садржај Zn у супстрату, јер није било значајних разлика у концентрацији Zn између контролног и ризосферног супстрата.

Садржај Zn у ризосферном супстрату *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре и депоније пепела ( $23.90 - 25.60 \mu\text{g g}^{-1}$ ,  $15 - 20.20 \mu\text{g g}^{-1}$ ) био је испод просечних вредности за земљиште ( $45 - 60 \mu\text{g g}^{-1}$ , Kabata-Penidas). Висок садржај фосфата, природног или пореклом од фосфатних ђубрива може узроковати смањену доступност Zn, што је изражено на депонији пепела (Alloway, 2008). Такође, песковита земљишта се генерално одликују мањим капацитетом за адсорпцију Zn од земљишта тежег текстурног састава, те се одликују мањим садржајем доступног Zn (Stahl & James, 1991), што је било показано и на Делиблатској пешчари. На алувијалном наносу Велике Мораве је концентрација Zn у контролном и ризосферном супстрату ( $64.90 - 65.70 \mu\text{g g}^{-1}$ ,  $64.10 - 65.80 \mu\text{g g}^{-1}$ ) била изнад просечног опсега за земљиште ( $45 - 60 \mu\text{g g}^{-1}$ , Kabata-Penidas, 2011).

Садржај Zn у **листовима** *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре, са депоније пепела и алувијалног наноса Велике Мораве био је у нормалном опсегу ( $32.10 - 37.50 \mu\text{g g}^{-1}$ ,  $37 - 41.40 \mu\text{g g}^{-1}$ ,  $44.80 - 49.60 \mu\text{g g}^{-1}$ ) ( $27 - 150 \mu\text{g g}^{-1}$ , Kabata-Pendias, 2011). Садржај Zn у **стељи** *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре и депоније пепела био је за 31.39%, односно за 19.97% већи него у листовима, вероватно услед акумулације у листовима пред опадање на крају вегетационе сезоне и/или апсорпције Zn из супстрата у стељу.

## 6.2. Директна алелопатија – инхибиторни ефекти алелохемикалија из супстрата, листова и стеље инвазивних врста биљака

Фитотоксична активност алелохемикалија у датом екосистему је функција комплексне интеракције између хемијских особина алелохемикалија и физиолошких и еколошких карактеристика донорске и акцепторске врсте у интеракцији са променљивим условима животне средине (Kobayashi, 2004). Идентификација фенолних једињења у стељи као и у земљишту указала је на то да ова једињења могу бити укључена у алелопатске интеракције између биљних врста (Rice, 1974; Harborne, 1977). Фенолна једињења пореклом из доминантних биљних врста се акумулирају у земљишту и могу инхибирати клијање семена, раст коренка и хипокотила, фотосинтезу, усвајање воде и јона, ензимску активност и друге физиолошке процесе код акцепторске биљке (Pedrol *et al.*, 2006; Đurđević *et al.*, 2012). Као последица негативних ефеката фенолних једињења пореклом из доминантних биљних врста долази до смањења бројности других биљних врста у заједници или њиховог потпуног нестанка из фитоценозе (Muscolo & Sidari, 2006; Hussain & Reigosa, 2011; Đurđević *et al.*, 2011). Алелопатска инхибиција је резултат комбиноване активности органских молекула, који на синергистичан начин остварују интеракцију са више физиолошких процеса код акцепторске биљке (Einhellig, 1996). Едафски фактори као што су влажност земљишта, рН, садржај органске материје или салинитет имају утицај на биоактивност алелохемикалија у земљишту или могу да модификују активност земљишних микроорганизама и ензима (Al-Turki & Dick, 2003). На повећање концентрације фенолних једињења у биљним тиквима утичу различите хемијске карактеристике (рН и електропроводљивост) (Batish *et al.*, 2002), УВ зрачење (Schmitz-Hoerner & Weissenböck, 2003), квалитет светлости (Dudt & Shure, 1994), присуство токсичних метала и додавање хербицида или алелохемикалија у земљиште (Gubbiga *et al.*, 1996).

### 6.2.1. Директна алелопатска активност *Robinia pseudoacacia* на различитим стаништима

Врста *R. pseudoacacia* је типична трансформаторска врста (Richardson *et al.*, 2000) која својим брзим растом и репродукцијом осваја нова станишта и утиче на смањење биодиверзитета на локалном нивоу (Benesperi *et al.*, 2012; Sitzia *et al.*, 2012; Rédei *et al.*, 2014). Када се интродукује на неко подручје, *R. pseudoacacia* се шири јако брзо на отвореним местима где формира густе састојине, и тако смањује регенерациони потенцијал других хелиофитних биљних врста (Kutnar & Kobler, 2013). Такође, ова биљна врста показује ефекте хомогенизације на састав врста у спрату дрвећа и у приземном спрату флоре, и мења заједнице у смеру рудералних, алохтоних и космополитских биљних врста на штету аутохтоних врста (Nascimbene & Marini, 2010; Šibíková *et al.*, 2019). Ове промене су изазване способношћу азотофиксације и утицаја *R. pseudoacacia* на светлосни режим станишта као и на карактеристике земљишта које укључују земљишне организме, стопу разлагања органске материје и доступност нутријената (Castro-Díez *et al.*, 2012; Vítková *et al.*, 2015; Lazzaro *et al.*, 2018; Du *et al.*, 2019).

Смањење биоразноврсности у састојинама *R. pseudoacacia* је узроковано хомогенизацијом структуре заједнице, еутрофикацијом земљишта и доминацијом нитрофилних рудералних врста (Vítková & Kolbek, 2010; Rédei *et al.*, 2014; Vítková *et*

al., 2015; Šibíková *et al.*, 2019). Различите студије су показале да *R. pseudoacacia* доприноси инвазији других алохтоних врста биљака у спрат приземне флоре, које могу да инхибирају раст аутохтоних биљних врста (Dzwonko & Loster, 1997; Peloquin & Hiebert, 1999; Von Holle *et al.*, 2006).

*R. pseudoacacia* синтетише и ослобађа различите алелопатске супстанце, које могу да инхибирају раст клијанаца одређених биљних врста (Nasir *et al.*, 2005; Matveev *et al.*, 1975; Bartha *et al.*, 2008) и имају утицај на еколошко функционисање природних станишта (Nasir *et al.*, 2005; Boer, 2013). Тако су неке биљне врсте које расту у заједницама са *R. pseudoacacia* у степама Русије показале смањен раст (Matveev *et al.*, 1975). Nasir *et al.* (2005) су показали да изостанак биљног покривача у састојинама *R. pseudoacacia* може бити последица активности једињења која се у земљиште ослобађају у процесу разлагања биљних остатака. Ове алелохемикалије могу имати важну улогу у успешној инвазији станишта, чиме би се такође могли објаснити смањена бројност и покривност других биљних врста у приземном спрату флоре у састојинама *R. pseudoacacia*. Такође, Venesperi *et al.* (2012) су показали да су биљне заједнице шума северних Апенина богатије биљним врстама од заједница у којима доминира *R. pseudoacacia*.

*R. pseudoacacia* продукује алелопатске супстанце у кори и кореновима, показујући инхибиторни утицај на раст клијанаца биљних врста из рода *Hordeum* (Waks, 1936). Тако су Brartha *et al.* (2008) потврдили алелопатски ефекат *R. pseudoacacia* кроз анализу биолошких ефеката секундарних метаболита који инхибирају раст и развој других биљака. Експеримент са петријевим посудама показао је да *R. pseudoacacia* има најизраженије алелопатско дејство на клијање *Sinapis alba* и *Triticum aestivum* као и раст клијанца *Sinapis alba* код свих испитиваних врста (Pavićević, 2013). Ипак, алелопатски ефекти нису довољно истражени у природним условима, те се сматра да је промена вегетације ка рудералним и нитрофилним биљним заједницама пре везана за доступност земљишних нутријената него за алелопатију (Vítková & Kolbek, 2010).

**Инхибиција раста коренка *T. pratense* – ризосферни и контролни супстрат (разлика у оквиру станишта).** Резултати ове докторске дисертације су показали да нема значајних разлика у инхибицији раста коренка *T. pratense* између контролног супстрата и ризосферног супстрата *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре и депоније пепела. На депонији пепела разлике у рН (H<sub>2</sub>O) и рН (KCl) између контролног и ризосферног супстрата нису биле значајне. Иако је садржај С, N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, ферулинске киселине и рутина био значајно већи у ризосферном супстрату са депоније пепела, услед већих вредности рН, до значајне инхибиције раста коренка *T. pratense* није дошло, јер је у неутралним и благо алкалним условима фитотоксична активност алелохемикалија ограничена услед сорпције за органску материју, изазвану кроз значајно веће вредности С (Makoi & Ndakemi, 2012). На јаловишту азбеста узрок веће инхибиције раста коренка *T. pratense* код контролног супстрата у односу на ризосферни супстрат могао би се повезати са потенцијално фитотоксичним ефектима Си, чије су веће концентрације забележене у контролном супстрату. Слично добијеним резултатима, и други аутори су утврдили да је утицај *R. pseudoacacia* био слабије изражен у биотестовима са ризосферним земљиштем у односу на контролни третман (Vuković, 2015).

**Инхибиција раста коренка *T. pratense* – ризосферни и контролни супстрат (разлика између станишта).** Већа вредност инхибиције раста коренка *T. pratense* показана је код биотестова са ризосферним супстратом *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре у односу на депонију пепела и јаловиште азбеста. Ризосферни супстрат *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре издвајао се по већим

концентрацијама 3-НВА, 3,5-ДНВА, као и већим садржајем N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и вредностима pH (H<sub>2</sub>O) у односу на депонију пепела ГЕНТ-А и јаловиште азбеста Страгари. Садржај N у ризосферном супстрату *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре, био је у повезан са већим вредностима 3-НВА и 3,5-ДНВА, што може да укаже да већа синтеза фенолних једињења код биљака на оваквим стаништима може представљати предност у повећаном усвајању органског N од стране биљака (Northup *et al.*, 1995). Фенолна једињења (3-НВА и 3,5-ДНВА) у ризосферном супстрату *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре могу бити у конкуренцији са фосфором за места сорпције на површини минерала или формирање комплекса са Al и Fe, тако да већи садржај фенолних једињења који се ослобађа из биљака и доспева у земљиште може повећати доступност фосфора (Kafkafi *et al.*, 1988). Синергизам између 3-НВА, 3,5-ДНВА и високих концентрација Cr и Ni у супстрату може имати фитотоксични ефекат на раст биљака. Садржај хемијских елемената у супстрату може бити од кључног значаја за активност алелохемикалија (Pollock *et al.*, 2009) и може утицати на синтезу и ослобађање секундарних метаболита из биљних коренова, што повећава доступност нутријената, или доприноси формирању хелата са токсичним металима у земљишту (Li *et al.*, 2007).

Јаловиште азбеста се у односу на Делиблатску пешчару и депонију пепела издвајало по већим вредностима pH (H<sub>2</sub>O) и pH (KCl), као и већим концентрацијама Fe, Mn, Ni и Cu, како у контролном, тако и у ризосферном супстрату. На контролном супстрату јаловишта азбеста биле су регистроване високе вредности инхибиције раста коренка *T. pratense*, иако у њему нису била детектована фенолна једињења, што вероватно може бити последица дејства високих концентрација Ni и Cu које су биле изнад просека. Иако су концентрације испитиваних хемијских елемената биле сличне код ризосферног и контролног супстрата јаловишта азбеста, регистроване су ниске вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* у ризосферном супстрату *R. pseudoacacia*, што би се могло објаснити ниским концентрацијама алелохемикалија у ризосферном супстрату које заправо нису могле бити детектоване, али су испољиле потенцијално стимулативни ефекат на раст клијанаца или су неутралисале токсично дејство Cu и Ni кроз формирање органских комплекса са овим елементима (Li *et al.*, 2007; Pollock *et al.*, 2009).

**Инхибиција раста коренка *T. pratense* – листови и стеља (разлика у оквиру станишта).** У овој докторској дисертацији, листови *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре су показали значајно већу алелопатску активност у односу на стељу, изражену кроз инхибицију раста коренка *T. pratense*. Већа инхибиторна активност код листова у односу на стељу била је везана за веће вредности 3,5-ДНВА, ферулинске киселине, *n*-кумаринске киселине и рутина. Стеља је изграђена од делимично разложених надземних делова биљке и садржи значајно мање концентрације фенолних једињења у односу на листове (Ђурђевић *et al.*, 2013). Смањење садржаја фенолних једињења у току разлагања стеље резултат је испирања фенолних једињења растворљивих у води и разлагања ових једињења дејством микроорганизама (Lapadatescu *et al.*, 2000; Münzenberger *et al.*, 2003). Као последица испирања и разлагања фенолних једињења, у току каснијих фаза процеса разлагања стеље, доминирају нерастворљива и слабије разградива једињења попут лигнина, целулозе и хемицелулозе (Osono & Takeda, 2005; Ђурђевић *et al.*, 2013). Нутријенти који се ослобађају из стеље након разлагања слабе токсичне ефекте алелохемикалија, и хумус који се ствара опадањем стеље такође апсорбује алелохемикалије слабећи њихову токсичност (Loffredo *et al.*, 2005).

На депонији пепела није било значајних разлика у инхибицији раста код листова и стеље *R. pseudoacacia*, иако су листови имали значајно веће концентрације ферулинске киселине, *n*-кумаринске киселине и рутина у односу на стељу.

Истраживања су показала да се различити типови алелохемикалија ослобађају у различитим стадијумима разлагања стеље (Liu, 2006). Такође, микробна активност може мењати биотоксичност алелохемикалија због деградације или ефеката ресинтезе у току разлагања стеље и ослобађања алелохемикалија (Aziz & Shaukat, 2015).

Стеља *R. pseudoacacia* са јаловишта азбеста је показала већу инхибиторну активност у односу на листове, јер је инхибиција раста коренка *T. pratense* била праћена већим садржајем 3-НВА, Cu, Fe, Mn и Zn у стељи. Истраживања су показала да се метали могу концентровати у стељи, а нарочито Cu и Zn (Laskowski & Berg, 1993; Lomander & Johansson, 2001), што може да укаже на чињеницу да је акумулација метала у стељи резултат уласка метала из ваздуха (Cisternas & Mignolet, 1982). Међутим, у овом случају, резултати указују да је акумулирање метала у стељи код испитиваних врста вероватно резултат транспорта метала из супстрата у опале листове (Scheid *et al.*, 2009). На стаништима са алкалном реакцијом супстрата, као што је јаловиште азбеста где нема континуираног слоја стеље у току целе године, привремена стеља може представљати резерву за метале из супстрата (Scheid *et al.*, 2009). Један део аутора указује да је повећана концентрација метала у стељи резултат усвајања ових елемената од стране бактерија које су присутне у стељи (Lomander & Johansson, 2001; Windham *et al.*, 2004). Такође, на загађеним и антропогено измењеним земљиштима и супстратима, каква су и јаловишта рудника, активност микроорганизама је веома смањена у односу на незагађена, тако да садржај метала у стељи често може да достигне веће вредности у односу на земљиште ( $1000 \mu\text{g g}^{-1}$  за Cu и  $5000 \mu\text{g g}^{-1}$  за Zn) (Frey *et al.*, 2006). Алелохемикалије могу бити трансформисане у више активне супстанце, као што је показано од стране Kong *et al.* (2002), те је могуће да су веће концентрације 3-НВА са потенцијално токсичним деловањем Cu допринеле већој инхибицији раста коренка *T. pratense* код стеље *R. pseudoacacia* са јаловишта азбеста него код листова.

**Инхибиција раста коренка *T. pratense* – листови и стеља (разлика између станишта).** Инхибиција раста коренка *T. pratense* била је највећа у биотестовима са листовима *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре у односу на депонију пепела и јаловиште азбеста, што је било повезано са високим концентрацијама 3,5-ДНВА, *n*-кумаринске киселине и рутина, као и токсичним вредностима Ni и Cr у листовима. Висок садржај Ni и Cr у листовима *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре везан је за изразито високе концентрације Ni и Cr у супстрату. Растворљивост Ni у супстратима који имају већи садржај органске материје може бити повећана услед формирања органских форми, од којих неки могу бити лако растворљиви хелати (Bloomfield, 1981). Органска материја може да мобилише Ni из карбоната и оксида и да смањи сорпцију Ni на честицама глине, те у супстратима где има више органске материје Ni може бити значајно мобилнији (Kostić, 2014). Токсичан садржај Cr у листовима *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре може бити везан за ефикасније усвајање овог елемента у условима већих рН вредности супстрата и оксидативним условима, који погодују образовању хромата и већој растворљивости (Dubikova *et al.*, 2006; Kostić, 2014).

Токсичан садржај Cr и Ni у листовима *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре може да допринесе повећању количине фенолних једињења (3,5-ДНВА, *n*-кумаринске киселине и рутина), што може да буде додатно повећано другим стресним факторима који владају на оваквим стаништима, као што су интензивна светлост (Grace & Logan, 1996), суша (Smirnoff, 1993) и UV радијација (Landry *et al.*, 1995). Такође, већи садржај фенолних киселина (3,5-ДНВА и *n*-кумаринска киселина) и флавоноида (рутин) везан је за њихову улогу у уклањању реактивних облика кисеоника и хелатизацији метала (Cr и Ni) у листовима (Grace, 2005).

Садржај фенолних једињења и њихова алелопатска активност повећала се услед токсичних концентрација Ni и Cr у листовима, као и дефицита Zn. Биљке које расту на

базним и заслањеним супстратима и са малим садржајем органске материје и високим садржајем песка, фосфора, Cu и Fe, често могу показивати симптоме дефицита Zn (Hafeez *et al.*, 2013). Дефицит овог елемента доводи до повећања синтезе фенолних једињења код различитих биљних врста (Hajiboland & Amirazad, 2010). При недостатку Zn, ефикасност усвајања воде, нодулација и азотофиксација су мање ефикасни (Ahlawat *et al.*, 2007). Такође, долази до непотпуне оксидације протеина што изазива накупљање полифенола, фитосеротина и лецитина у биљним вакуолама (Sarić, 1983).

Стеља *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре имала је веће концентрације Cr у односу на стељу са депоније пепела и јаловишта азбеста Страгари, што је било везано за већи садржај Cr у супстрату и листовима. Стеља *R. pseudoacacia* са јаловишта азбеста карактерисала се већим концентрацијама 3-НВА и 3,5-ДНВА у односу на стељу из Делиблатске пешчаре и депоније пепела, као и већим концентрацијама Zn, Cu и Mn, што је повезано са већим садржајем Zn, Cu и Mn у листовима и високим вредностима ових елемената у супстрату.

Стељу *R. pseudoacacia* карактерише висока вредност инхибиције раста коренка *T. pratense*, чији узрок може бити фитотоксична активност фенолних једињења у комбинацији са већим вредностима испитиваних хемијских елемената, који потенцијално могу деловати фитотоксично. Фенолна једињења могу да опстану у биљном материјалу након опадања и могу имати важан ефекат на разлагање биљног материјала, микробиолошку имобилизацију нутријената и доступност нутријената (Northup *et al.*, 1995; Hattenschwiler & Vitousek, 2000). Током опадања листова, део нутријената из листова се реасорбује у биљно тело, па се концентрација нутријената у стељи разликује од концентрације истих у зрелим листовима услед реасорпције (Aerts, 1996). Биљке које расту на стаништима са малом доступношћу нутријената стварају стељу са ниским концентрацијама минералих материја, јер се велики део нутријената реасорбује у биљно тело из листова. Након опадања, листови постају део стеље на површини земљишта. Опадање листова и формирање стеље је један од основних путева за враћање нутријената у земљиште, нарочито азота и фосфора. Акумулација ових нутријената у површинском слоју земљишта је позната као имобилизација. Разлагањем формиране стеље, које је потпомогнуто испирањем нутријената падавинама и радом организама разлагача, ослобађају се продукти разлагања у земљиште и тако доприносе капацитету размене катјона земљишта (Chave *et al.*, 2009). Испирање је процес којим се из стеље уклањају катјони (Fe и Al), као и органска материја, и транспортује се у земљиште. Стеља која садржи веће концентрације нутријената ће се разлагати доста брже (Scott *et al.*, 1995).

### 6.2.2. Директна алелопатска активност *Ailanthus altissima* на различитим стаништима

Инвазивност врсте *A. altissima* и њена способност да потисне друге биљне врсте из заједнице резултат је једним делом и алелопатског потенцијала ове врсте (Lawrence *et al.*, 1991; Gomez-Aparicio & Canham, 2008). *A. altissima* синтетише различите алелохемикалије које имају инхибиторно или токсично дејство на друге биљке. Ова једињења се испирају са надземних делова биљке или се излучују из коренова, и концентришу се у земљишту по дубини или у непосредној близини стабла (Heisey, 1990; Lawrence *et al.*, 1991). Негативни ефекти на друге биљке у заједници су показани у различитим лабораторијским биосејима и биотестовима у стакленим баштама. Mergen (1959) је показао смањен раст код више од 90% дрвенастих скривеносеменица (10 врста) и голосеменица (35 врста) изложених екстракту листа *A. altissima*, и увенућа



апикалног меристема код више од 50% тестираних биљних врста. Heisey (1990) је утврдио значајно смањење раста коренка и морталитет у току једне недеље за коровске и пољопривредне врсте биљака (7 врста) изложене екстракту корена *A. altissima*. Lawrence *et al.* (1991) су показали смањено клијање и раст клијанаца, као и смањену репродукцију свих тестираних врста које су биле излагане екстрактима стабла и листова *A. altissima*. Исто тако, екстракти неколико аутохтоних дрвенастих и зељастих врста биљака нису показали значајне ефекте на тестиране биљке (Lawrence *et al.*, 1991).

Истраживања An *et al.* (2001) су показала да се концентрација алелохемикалија у стељи *Vulpia* повећава након кратког периода разлагања. Према Zhang *et al.* (2015), алелохемикалије које се ослобађају из стеље могу бити под утицајем металних јона у земљишту. Такође, алелохемикалије као што су фенолне киселине могу бити трансформисане биолошким и хемијским активностима у земљишту (Blum *et al.*, 1999; Kong *et al.*, 2002). Иако су продукти разлагања биљних остатака од нутритивне вредности за нову вегетацију, један део ових продуката делује алелопатски на младе биљке и микроорганизме. Нарочито је то изражено када су те биљке биле под јако стресним условима, јер биљни остаци у том случају садрже веће количине алелохемикалија (Einhelling, 1996). Такође, Inderjit & Duke (2003) су показали да земљишта која су обогачена алелохемикалијама могу изазвати хемијски стрес, и индиректно допринети повећаној синтези алелохемикалија код акцепторске врсте биљака, као одговор на алелопатски стрес.

Утицај врсте *A. altissima* на друге биљне врсте у заједници доста зависи од њене удаљености од друге биљке и сматра се да драстично опада на више од 5 m удаљености (Gómez-Aparicio & Canham, 2008). Анализа стеље показала је да је највећи део стеље *A. altissima* присутно до 5 m раздаљине од стабла зреле јединке (Gómez-Aparicio & Canham, 2008). Слично, Jose & Gillespie (1998) су показали да се концентрације југлона (ослобођене из коренова у земљиште) смањују експоненцијално са удаљеношћу од 5 m од црног ораха (*Juglans nigra* L). Такође, Gómez-Aparicio & Canham (2008) указују да алелохемикалије из *A. altissima* брзо губе своју токсичност у земљишту, и да се њихова биолошка активност генерално одвија у непосредној близини стабла.

**Инхибиција раста коренка *T. pratense* – ризосферни и контролни супстрат (разлика у оквиру станишта).** Резултати ове дисертације су показали веће вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* код ризосферног супстрата *A. altissima* у односу на контролни супстрат и то на сва три испитивана станишта. Тако, на Делиблатској пешчари веће вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* код ризосферног супстрата биле су повезане са већим вредностима C, N, K<sub>2</sub>O, Cu, Ni, Zn, 3,5-DHBA и рутина и нижим вредностима рН (H<sub>2</sub>O) и рН (KCl). Узрок већој инхибицији раста коренка треба тражити у већем садржају 3,5-DHBA и рутина, као и других алелохемикалија изражених кроз већи садржај C и N, тоскични садржај садржај Ni, чији су веће концентрације забележене у ризосферном супстрату. Такође, ниже вредности рН супстрата се генерално везују за већу инхибиторну активност, односно у тим условима се повећава концентрација фенолних једињења у земљишту (Whitehead *et al.*, 1982). Исто тако, ниже вредности рН могу модификовати садржај и доступност нутријената у супстрату, и на тај начин могу индиректно утицати на раст биљака (Makoi & Ndakidemi, 2012).

На депонији пепела веће вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* биле су повезане са већим садржајем C, N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, затим Cr, Cu, Fe и Zn, као и ужим односом C/N код ризосферног супстрата *A. altissima* у односу на контролни супстрат. Иако нису детектоване веће концентрације фенолних једињења у ризосферном супстрату, веће вредности C и N указују на већу количину органске материје у ризосферном супстрату, која представља извор алелохемикалија (Ekschmitt *et al.*, 2008;

Ђурђевић *et al.*, 2010). Такође, ужи однос C/N, као и веће вредности P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> се могу везати за алелопатске ефекте (Kafkafi *et al.*, 1988). Слично резултатима добијеним у овој дисертацији, Негг *et al.* (2007) су утврдили да ризосферно земљиште инвазивне врсте *Solidago gigantea* има ниже вредности рН и већи садржај доступног фосфора него околно земљиште на којем ова биљка не расте. Такође, резултати ове докторске дисертације могу да укажу на потенцијално фитотоксичне ефекте Cr, Cu и Ni у супстрату. Биљке које расту на супстратима са високим концентрацијама Ni се одликују успореним клијањем, инхибицијом раста, смањеним приносом, смањеном асимилацијом CO<sub>2</sub> и проводљивошћу стома, као и појавом хлороза листова и већењем (Chen *et al.*, 2009).

На кречњачком станишту, већа инхибиција раста коренка *T. pratense* код ризосферног супстрата је била позитивно корелисана са вредностима C, и N, што се слагало са резултатима других аутора (Northup *et al.*, 1995; Ђурђевић *et al.*, 2009). Истраживања показују да контролна земљишта (без биљака) садрже значајно ниже концентрације токсичних супстанци у односу на земљишта са биљкама (ризосферна земљишта) (Ђурђевић *et al.*, 2004, 2011, 2013).

**Инхибиција раста коренка *T. pratense* – ризосферни и контролни супстрат (разлика између станишта).** У биотестовима са контролним и ризосферним супстратом *A. altissima* из Делиблатске пешчаре добијене су високе вредности инхибиције раста коренка *T. pratense*, које су биле приближне вредностима са кречњачког станишта, а значајно веће од оних добијених на депонији пепела. Контролни супстрат из Делиблатске пешчаре издвајао се по већим вредностима 3-НВА, *n*-кумаринске киселине, ферулинске киселине и рутина у односу на депонију пепела и кречњачко станиште. Такође, ризосферни супстрат *A. altissima* из Делиблатске пешчаре карактерише се већим вредностима C/N, 3-НВА, 3,5-ДНВА, ферулинске киселине и рутина у односу на депонију пепела и кречњачко станиште. Ризосферни супстрат *A. altissima* са кречњачког станишта издваја се по високим концентрацијама Mn, Ni, Fe, Cr, Cu и Zn, као и високим вредностима рН (H<sub>2</sub>O) и рН (KCl), C/N и садржајем P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> у односу на ризосферни супстрат *A. altissima* из Делиблатске пешчаре и са депоније пепела. Ризосферни супстрат *A. altissima* имао је високе вредности инхибиције раста коренка *T. pratense*, што би се могло повезати са токсичним ефектима Cr, Cu, Mn и Ni (Zhang *et al.*, 2005; Morris *et al.*, 2009), већим вредности рН (H<sub>2</sub>O) и рН (KCl), C/N и садржајем P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> у комбинацији са мањим концентрацијама фенолних киселина, чија се фитотоксичност може повећати адитивним и синергистичким ефектима (Ђурђевић *et al.*, 2010; Makoi & Ndakidemi, 2012). Физичке и хемијске промене земљишта, нарочито оне везане за алелопатију, су показане као важан механизам за инхибицију аутохтоних врста и велики успех одређених инвазивних биљних врста (Small *et al.*, 2010).

**Инхибиција раста коренка *T. pratense* – листови и стеља (разлика у оквиру станишта).** Листови *A. altissima* из Делиблатске пешчаре показали су већу инхибиторну активност него стеља, услед већих концентрација 3,5-ДНВА, ферулинске киселине и рутина. Истраживања Zhang *et al.* (2015) указују да екстракти делимично разложене стеље одређених дрвенастих врста често показују стимулативне ефекте на раст индикаторске врсте при нижим концентрацијама и инхибиторне ефекте при већим концентрацијама алелохемикалија, што је такође показано и у другим истраживањима (Yuan & Hou, 2009). Такође, алелохемикалије у стељи могу бити разложене од стране земљишних микроба (Lankau, 2010). При ниским концентрацијама алелохемикалија у листовима, стељи и супстрату донорске врсте може доћи до индукције компензацијског раста акцепторских биљака, што је слично расту у условима слабог интензитета стреса у животној средини (Wang *et al.*, 2009).

На депонији пепела разлика у инхибицији раста коренка *T. pratense* код листова и стеље није била статистички значајна. Узрок овој малој разлици у инхибиторној активности листова и стеље *A. altissima* може бити сличан садржај фенолних једињења, осим у случају 3,5-DHBA и рутина код листова и *n*-кумаринске киселине код стеље *A. altissima*. Већи садржај хемијских елемената у стељи у односу на листове вероватно може бити везан за њихову депозицију из ваздуха или апсорпцију из супстрата (Scheid *et al.*, 2009). Такође, веће вредности Cr, Cu, Fe, Mn, Ni и Zn у стељи у односу на листове могу бити резултат акумулације ових елемената у листовима на крају вегетационе сезоне, пред опадање, чиме се биљка ослобађа вишка метала.

На кречњачком станишту је већа инхибиција коренка *T. pratense* код стеље у односу на листове *A. altissima* била везана за већи садржај 3-НВА, Cu и Mn, чија се концентрација у стељи вероватно повећала дифузијом из супстрата у којем су Cu и Mn били токсични (Scheid *et al.*, 2009). Међутим, инхибиција раста коренка *T. pratense* на кречњачком станишту је била повезана са токсичним садржајем Cr, Cu и Ni у листовима, чија доступност може бити повећана при већем садржају фенолних једињења (3,5-DHBA и 3-НВА), што је било у сагласности са резултатима других аутора (Zhang *et al.*, 2005; Morris *et al.*, 2009; Đurđević *et al.*, 2010; Makoi & Ndakidemi, 2012). Добијени резултати у овој докторској дисертацији су били у складу са ранијим истраживањима бројних аутора, који су такође потврдили да се већина фенолних једињења присутних у стељи и листовима налази и у околном земљишту.

**Инхибиција раста коренка *T. pratense* – листови и стеља (разлика између станишта).** Листови и стеља *A. altissima* са депоније пепела показали су веће вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* него листови из Делиблатске пешчаре и кречњачког станишта. У стељи *A. altissima* са депоније пепела, високе вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* биле су везане за веће концентрације ферулинске киселине, рутина, 3-НВА и 3,5-DHBA и Cr, Ni, Fe, *n*-кумаринске киселине и рутина у односу на друга два станишта. Вероватно је већим количинама фенолних једињења допринео висок садржај Ni и Cr у супстрату, висок садржај Cr, али и дефицит Mn у листовима, те синтеза фенолних једињења која може бити одговор на стресне услове средине. Слични резултати били су потврђени од стране других аутора. Тако, услови са ниским садржајем нутријената повећавају продукцију алелохемикалија и утичу на алелопатске интеракције (Rice, 1984; Einhellig, 1996). Слично, укупне фенолне киселине код *Helianthus annuus* повећале су се са повећаним стресом изазваним недостатком нутријената (Hall *et al.*, 1982). Низак садржај нутријената утицао је на синтезу алелохемикалија и код врсте *Myriophyllum spicatum* путем неколико механизма (Gross, 1999).

### 6.2.3. Директна алелопатска активност *Amorpha fruticosa* на различитим стаништима

Екстракти листова *A. fruticosa* садрже високе концентрације полифенола, нарочито флавоноида (Novanet *et al.*, 2015). Алелопатски ефекти листова и стеље *A. fruticosa* могу бити везани за висок садржај различитих фенолних једињења, који могу имати алелопатски потенцијал. Тако, полифенолна једињења могу повећати пермеабилност ћелијске мембране, инхибирати усвајање нутријената, деобу и елонгацију ћелија, редуковати садржај хлорофила и стопу фотосинтезе, променити активност и функцију одређених ензима, инхибирати синтезу протеина што све утиче на клијање и раст клијанаца (Đurđević *et al.*, 2011). Неке од студија су показале да високе концентрације екстракта листа *A. fruticosa* инхибирају клијање и раст коренка клијанца *Triticum aestivum*, и смањују суву масу биљке (Wu *et al.*, 2012). Међутим, мале

концентрације екстракта листа *A. fruticosa* садрже супстанце које могу стимулирати раст клијанаца тестираних врста (Wu *et al.*, 2012). Неке хемикалије имају релативно јаку селективност и специфичност, и зато је осетљивост индикаторских врста, њихове клијавости и раста клијанаца под утицајем различитих алелохемикалија (Inderjit, 2006). Слично, различите врсте алелохемикалија улазе у међусобне хемијске рекације, што може резултовати у комплексним адитивним или антагонистичким ефектима (Kong *et al.*, 1998).

**Инхибиција раста коренка *T. pratense* – ризосферни и контролни супстрат (разлика у оквиру станишта).** Већа вредност инхибиције раста коренка *T. pratense* била је регистрована код ризосферног супстрата *A. fruticosa* са депоније пепела ГЕНТ-А у односу на контролни супстрат, док на станишту Делиблатска пешчара и алувијални нанос Велике Мораве те разлике нису биле статистички значајне. Већа инхибиција раста коренка *T. pratense* може бити услед високих концентрација 3-НВА и рутина, што је праћено већим вредностима С, N, C/N, а то је такође било потврђено од стране других аутора (Kafkafi *et al.*, 1988; Ekschmitt *et al.*, 2008). Веће вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* код ризосферног супстрата биле су позитивно корелисане са садржајем P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O, чије се веће вредности везују за алелопатске ефекте биљака. Узрок веће инхибиције раста коренка *T. pratense* код ризосферног супстрата може такође бити последица токсичног деловања Ni, као и потенцијално фитотоксичног ефекта Cr, Cu и Fe.

**Инхибиција раста коренка *T. pratense* – ризосферни и контролни супстрат (разлика између станишта).** Контролни и ризосферни супстрат *A. fruticosa* са алувијалног наноса Велике Мораве показао је већу алелопатску активност него супстрат из Делиблатске пешчаре и депоније пепела. Контролни и ризосферни супстрат се карактерише високим концентрацијама Ni, Mn, Fe, Zn и Cu, а Ni и Mn које су биле изнад просечних и граничних вредности за земљиште. Већи садржај ових елемената, у синергији са ниским концентрацијама фенолних једињења може довести до веће инхибиције раста коренка *T. pratense* у биотестовима са супстратом (Pollock *et al.*, 2009; Li *et al.*, 2007; Zhang *et al.*, 2005; Morris *et al.*, 2009). Контролни супстрат алувијалног наноса Велике Мораве се карактерише већим вредностима С, N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, а ризосферни супстрат већим вредностима рН (H<sub>2</sub>O), рН (KCl), и P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> у односу на Делиблатску пешчару и депонију пепела. Разлог за мању концентрацију и слабу детекцију слободних фенолних једињења могао би се повезати са високим рН вредностима супстрата, као и већој количини органске материје која може да адсорбује слободне фенолне киселине (Makoi & Ndakemi, 2012). Већа количина органске материје се може огледати кроз веће вредности С, N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O што је у досадашњим истраживањима било повезивано са већим алелопатским ефектима (Kafkafi *et al.*, 1988; Đurđević *et al.*, 2010; Ekschmitt *et al.*, 2008), а то су и резултати у овој студији потврдили.

**Инхибиција раста коренка *T. pratense* – листови и стеља (разлика у оквиру станишта).** Разлика у инхибицији раста коренка *T. pratense* између листова и стеље *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре и депоније пепела није била значајна. На Делиблатској пешчари инхибиција раста коренка *T. pratense* код листова била је позитивно корелисана са садржајем ферулинске киселине, *n*-кумаринске киселине и рутина у листовима, док је инхибиција раста коренка *T. pratense* код стеље била повезана са већим садржајем 3-НВА, као и високим концентрацијама Cu, Fe, Mn и Zn. На депонији пепела је инхибиција раста коренка *T. pratense* била је нешто већа код листова *A. fruticosa*, али та разлика није била значајна у односу на стељу, иако су листови имали значајно веће концентрације 3,5-ДНВА, 3-НВА, ферулинске киселине, *n*-кумаринске киселине и рутина, као и Cr у односу на стељу. Стеља *A. fruticosa* са

алувијалног наноса Велике Мораве показала је већу инхибицију раста него листови, иако су листови имали значајно веће концентрације Mn, 3,5-DHBA, ферулинске киселине, *n*-кумаринске киселине и рутина него стеља.

**Инхибиција раста коренка *T. pratense* – листови и стеља (разлика између станишта).** Листови *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре имали су веће вредности ферулинске киселине и *n*-кумаринске киселине него депонија пепела и алувијални нанос. Истовремено, листови из Делиблатске пешчаре показали су веће вредности инхибиције раста коренка *T. pratense*. Такође, стеља *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре имала је веће вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* у односу на стељу са депоније пепела, док су разлике у односу на стељу са алувијалног наноса биле мале. Стеља из Делиблатске пешчаре карактерисала се већим вредностима 3-НВА, 3,5-DHBA, ферулинске киселине, рутина и Zn у односу на депонију пепела и алувијални нанос Велике Мораве.

Високе вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* код листова и стеље *A. fruticosa* из Делиблатске пешчаре се могу везати за фитотоксичну активност алелохемикалија (фенолних једињења) пореклом из листова и стеље. Иако у стељи *A. fruticosa* са алувијалног наноса Велике Мораве нису забележене високе концентрације фенолних једињења, стеља је показала високу инхибиторну активност – већу у односу на стељу из Делиблатске пешчаре и депоније пепела. Могуће је да је инхибиторна активност стеље била узрокована високим концентрацијама Ni и Mn, које у комбинацији са фенолним једињењима остварују свој инхибиторни потенцијал. Листови *A. fruticosa* са алувијалног наноса Велике Мораве издвајају се већим концентрацијама Ni, Cu, Fe, Zn и Mn у односу на Делиблатску пешчару и депонију пепела, што може бити повезано са већим садржајем ових елемената у супстрату са алувијалног наноса у односу на друга два станишта.

#### **6.2.4. Упоредна анализа алелопатске активности испитиваних биљних врста и њихов еколошки значај**

Присуство фенолних једињења у супстрату и стељи на различитим стаништима указује да поред алелопатског утицаја ових инвазивних врста биљака, постоји и позитиван ефекат на педогенезу на релативно стерилним супстратима као што су песак, пепео и јаловина рудника (Ђурђевић *et al.*, 2011). Ризосферни супстрат *A. altissima* из Делиблатске пешчаре имао је веће вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* у односу на *A. fruticosa* и *R. pseudoacacia*. Веће вредности инхибиције раста коренка биле су везане за већи садржај C, N, као и Cu, Mn, Ni и Zn у ризосферном супстрату *A. altissima* у односу на *A. fruticosa* и *R. pseudoacacia*. Иако је садржај испитиваних фенолних једињења у ризосферном супстрату истраживаних врста био приближно једнак, веће вредности C и N у ризосферном супстрату *A. altissima* указују на већи садржај органских једињења и алелохемикалија, које воде порекло од продуката разлагања стеље, испирања са листова и стеље и коренских ексудата *A. altissima* (Ekschmitt *et al.*, 2008; Ђурђевић *et al.*, 2009). Такође, висок садржај Ni, који је изнад просечних вредности у ризосферном супстрату *A. altissima* из Делиблатске пешчаре, може да има потенцијално фитотоксично дејство, јер се његова доступност повећава са снижавањем рН супстрата (Kowarik & Samuel, 2007; Li *et al.*, 2007; Pollock *et al.*, 2009; Chen *et al.*, 2009).

На депонији пепела ТЕНТ-А је висока вредност инхибиције раста коренка *T. pratense* забележена код ризосферног супстрата *A. fruticosa* и *A. altissima*. Високе вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* биле су праћене већим садржајем C, N,

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и Cr у ризосферном супстрату *A. altissima*, односно K<sub>2</sub>O, Fe, Zn и 3-НВА у ризосферном супстрату *A. fruticosa*. Ризосферни супстрат *R. pseudoacacia*, који је имао значајно ниже вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* имао је шири однос C/N, као и значајно већи садржај 3,5-DHBA, ферулинске киселине и рутина у односу на *A. altissima* и *A. fruticosa*. Могуће је да су фенолна једињења у ризосферном супстрату *R. pseudoacacia* деловала благо стимулаторно на раст *T. pratense*, или да су друга фенолна једињења у супстрату *A. altissima* и *A. fruticosa* имала инхибиторни потенцијал, али нису детектована, већ се одражавају кроз већи садржај C, N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O (Kafkafi *et al.*, 1988; Ekschmitt *et al.*, 2008; Đurđević *et al.*, 2010). У супстрату испод доминантних врста биљака постоје бројна фенолна једињења у различитим концентрацијама које могу да имају инхибиторне ефекте на околне биљке. У природним условима, адитивни или синергистичан инхибиторни ефекти ових алелохемикалија могу постати још израженији, ако су присутни у ниским концентрацијама, него што то могу бити ефекти индивидуалних супстанци, што би се могло објаснити инхибицијом одређених екофизиолошких процеса код акцепторске биљке (Đurđević *et al.*, 2010; Mitrović *et al.*, 2012).

Инхибиторна активност алелохемикалија из листова *R. pseudoacacia*, *A. altissima* и *A. fruticosa* била је приближно једнака на станишту Делиблатска пешчара. Инхибиција раста коренка *T. pratense* код листова *R. pseudoacacia* била је праћена већим вредностима и токсичним садржајем Cr и Ni у листовима, као и високим концентрацијама *n*-кумаринске киселине. Код листова *A. altissima*, инхибиција раста коренка *T. pratense* била је везана за веће вредности Cu и Fe, као и већи садржај 3,5-DHBA него код *R. pseudoacacia* и *A. fruticosa*. Инхибиторна активност листова *A. fruticosa* била је праћена већим садржајем Mn и Zn, као и *n*-кумаринске киселине, 3-НВА, ферулинске киселине и рутина. Инхибиторна активност алелохемикалија из стеље *A. fruticosa* и *A. altissima* била је значајно већа него код стеље *R. pseudoacacia* из Делиблатске пешчаре. Код стеље *A. fruticosa*, веће вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* биле су праћене већим садржајем *n*-кумаринске киселине, 3-НВА, 3,5-DHBA, ферулинске киселине и рутина, као и Mn и Zn у односу на стељу *A. altissima* и *R. pseudoacacia*. На депонији пепела веће вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* показали су листови *R. pseudoacacia* (већи садржај Ni, *n*-кумаринске киселине и ферулинске киселине) и листови *A. altissima* (већи садржај Cr, Fe и 3,5-DHBA) у односу на листове *A. fruticosa*. Стеља *A. altissima* са депоније пепела показала је већу инхибиторну активност у односу на стељу *R. pseudoacacia* и *A. fruticosa*, што би се могло везати за већи садржај 3-НВА, 3,5-DHBA и ферулинске киселине, као и веће вредности Cr, Cu и Fe.

Сличне резултате при упоређивању алелопатског потенцијала истраживаних биљних врста добили су и други аутори. У истраживањима Csiszár (2009), у којима је испитиван алелопатски потенцијал 15 инвазивних дрвенастих врста биљака у Мађарској, утврђено је да највећу инхибиторну активност, изражену кроз југлон индекс (Szabo, 1999), има *Amorpha fruticosa*, затим *Ailanthus altissima* и *Juglans nigra*, док је врста *Robinia pseudoacacia* је заузела седмо место. Упоређујући клијање и раст *Sinapis alba* L. са контролним третманом у истом истраживању, *A. fruticosa* је показала највећу инхибиторну активност, а потом следе *Ailanthus altissima*, *Juglans nigra*, *Acer negundo* и *Robinia pseudoacacia*. Такође, бројне студије су потврдиле компетитивну предност врсте *Ailanthus altissima* у односу на врсту *R. pseudoacacia* у мешовитим састојинама на различитим стаништима (Farago, 1964; Call & Nilsen, 2005).

Резултати ове докторске дисертације су показали да се *Ailanthus altissima* и *Amorpha fruticosa* одликују већим алелопатским потенцијалом на истраживаним стаништима у односу на *Robinia pseudoacacia*, када се узме у обзир индиректан утицај

на промене хемијских карактеристика супстрата и повећања садржаја хемијских елемената у ризосфери, као и директни ефекти алелохемикалија из ризосферног земљишта и стеље, изражени кроз инхибицију раста коренка *Trifolium pratense*.

Веgetација у подручјима који су под утицајем врсте *A. altissima*, а која је у овој докторској дисертацији показала веома јак алелопатски потенцијал, се континуирано деградира у поређењу са стањем пре уласка ове врсте у заједницу. У почетку, алелопатске супстанце се ослобађају из коренова, док се касније аутохтоне врсте потискују стварањем сенке. Велика маса опалог лишћа и стеље која се разлаже доприноси акумулацији азота у земљишту (Udvardy *et al.*, 2008). Показано је да врста *A. altissima* може трансформисати отворене екосистеме као што су ливаде или стара поља у шуме затвореног склопа (Kowarik & Saumel, 2007). Шуме у којима се налази *A. altissima* имају значајно мањи флористички диверзитет, што је израчунато на основу богатства биљним врстама, бројности и реткости одређених врста, када се упореди са суседним зонама без ове врсте (Motard *et al.*, 2011). Није у потпуности јасно да ли је ефекат ове врсте резултат њене директне активности преко фитотоксичности коренских ексудата, или је то трансформација земљишта и стеље у овим екосистемима. Промене које су уочене у биљним заједницама могу бити објашњене променама изазваним од стране инвазије *A. altissima* у заједницама земљишних инвертебрата, нарочито њихове улоге у разлагању стеље и минерализације органске материје (Reinhart *et al.*, 2005; Pritekel *et al.*, 2006; Motard *et al.*, 2011; Simberloff *et al.*, 2013). Поред фитотоксичних супстанци, *A. altissima* лучи и инсектицидна једињења (Pascual-Villalobos & Robledo, 1998), бактерицидна једињења (Kleiner & Smith, 2005) и фунгициде (Joshi *et al.*, 2003). За *A. altissima* се сматра да су његови клијанци веома отпорни на своје алелохемикалије (Heisey, 1996). Такође, стопа раста *A. altissima* је доста већа него стопа раста било ког аутохтоног дрвета са којим је ова врста упоређивана у истраживањима других аутора (Knapp & Canham, 2000; Gómez-Aparicio & Canham, 2008). Синтеза алелохемикалија које смањују раст коегзистирајућих врста биљака, али не и својих клијанаца може додатно да повећа разлике између инвазивних и аутохтоних врста у њиховој способности да надвладају компетиторске врсте, што додатно доприноси успеху инвазије *A. altissima* на различитим стаништима (Gómez-Aparicio & Canham, 2008).

Врста *A. fruticosa* је такође показала значајне директне и индиректне алелопатске ефекте на различитим стаништима. Ова врста има високу толеранцију на стресне услове који владају на различитим типовима станишта, што доприноси њеном инвазивном карактеру изван изворног ареала. Веома је успешна инвазивна биљна врста у напуштеним пољопривредним пољима и влажним стаништима, али такође формира састојине на депонијама пепела термоелектрана захваљујући својим екофизиолошким карактеристикама и високој стопи фотосинтезе (Mitrović *et al.*, 2012). На стаништима на којима је инвазивна, ова врста утиче на микроклиму, структуру вегетације, бројност и састав земљишних инвертебрата (Brigić *et al.*, 2014). Врста *A. fruticosa* може да инхибира процес природног обнављања шума (Jakovljević *et al.*, 2015; Horvat & Franjić, 2016). Тамо где је велика бројност ове врсте, она може да надрасте аутохтоне врсте дрвећа, па ствара озбиљне проблеме у обнављању плавних шума. *A. fruticosa* може постепено да потисне аутохтоне врсте у приобалним биљним заједницама око потока и река, као и стајаћих вода (Szigetvári & Tóth, 2008). Аутори Dykov & Zhelev (2013) констатују да *A. fruticosa* првенствено тежи да окупира прогале настале унутар састојинског склопа крајречних шума, као и различитим микростаништима у овим заједницама, при чему на овим местима ова врста ствара густе популације, где већина другог дрвећа и жбуња као и неке зеласте биљке потпуно изостају. Крајречни екосистеми су осетљиви на инвазију *A. fruticosa* јер су обично изложени јаким антропогеним утицајима и модификацијама (Planty-Tabacchi *et al.*, 1996; Eschtruth &

Battles, 2011). У овим екосистемима, *A. fruticosa* колонизује и шумска и ливадска станишта (Poldini *et al.*, 2011), и представља претњу за осетљива станишта која су од значаја за заштиту природе. Док су неки аспекти утицаја инвазије *A. fruticosa* на локални биодиверзитет већ истраживани (Pedashenko *et al.*, 2012; Brigić *et al.*, 2014; Radovanović *et al.*, 2017), комплексне студије о вези тих промена са основним карактеристикама биљних заједница и екосистема су и даље недовољно познате.

Врста *R. pseudoacacia*, која је у овом истраживању показала слабији алелопатски потенцијал у односу на *A. altissima* и *A. fruticosa*, може да оствари и неке позитивне ефекте на екосистеме, упркос инвазивности и инхибиторним ефектима на алохтоне биљне врсте (Vítková *et al.*, 2017). Састојине *R. pseudoacacia* могу да представљају станиште неким ретким и угроженим врстама биљака (геофите) и имају важну улогу као миграциони коридор за шумске животиње. Густе састојине жбунастих врста које расту испод крошњи *R. pseudoacacia* представљају места за гнезђење и исхрану многих врста птица. Међу птицама су генералисти чешћи него специјалисти и укупан број врста птица може у неким случајевима бити већи него у састојинама аутохтоних храстова (Vítková *et al.*, 2017). Земљопоседници третирају *R. pseudoacacia* као инвазивну врсту једино када се рашири на пољопривредна добра, али цене и саде је на неплодним и сувим земљиштима (пешчане дине, јужне падине са плитким земљиштем), где се врста *R. pseudoacacia* показала као успешнија од многих аутохтоних биљних врста (Kutnar & Kobler, 2013). Врста *R. pseudoacacia* има и позитиван утицај на кружење угљеника и азота у екосистему, позитивно утиче на заједнице земљишних микроорганизама и спречава ерозију на теренима са великим нагибом (Rice *et al.*, 2004; Ślusarczyk, 2012; Wang *et al.*, 2019).

Резултати ове докторске дисертације, који су обухватили **евалуацију директне и индиректне алелопатске активности испитиваних биљака**, указују да је алелопатија важан механизам у процесу инвазије биљних врста и да стварни значај алелопатских ефеката инвазивне врсте не може да се одвоји од одређеног станишта и биљне заједнице, или да се посматра изоловано од других еколошких интеракција у биљним заједницама. Такође, резултати указују да испитиване инвазивне врсте могу позитивно деловати на иницијацију педогенезе у антропогено измењеним и деградираним екосистемима, који се одликују неплодним супстратима са релативно високим и токсичним концентрацијама тешких метала. На оваквим стаништима, испитиване инвазивне биљне врсте могу бити погодне за обнову вегетације, јер имају ефикасан утицај на биогеохемијске циклусе и стварање земљишта. Међутим, интродукција алохтоних дрвенастих врста биљака и њихово коришћење у обнови вегетације нарушених екосистема може допринети повећању садржаја алелохемикалија (фенолних једињења) у земљишту, због великих захтева ових врста према води и нутријентима и последично веће биосинтезе и отпуштања алелохемикалија у земљиште у условима неповољних карактеристика супстрата (Carballerira & Regiosa, 1999). Микрофлора земљишта обично није прилагођена на ове нове алелохемикалије па се, услед смањене стопе деградације ових једињења, она акумулирају у земљишту до токсичног нивоа (Ђурђевић *et al.*, 2011). Зато се пажња мора усмерити и на ризике од ширења популација и инвазије ових врста (нарочито *A. altissima* и *A. fruticosa*) на суседна станишта, што може бити штетно по аутохтони биодиверзитет и функционисање природних екосистема.



## **7. Закључци**



На основу резултата истраживања спроведених у овој докторској дисертацији у циљу утврђивања алелопатског потенцијала *Robinia pseudoacacia* L., *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle и *Amorpha fruticosa* L. кроз истраживање директних и индиректних ефеката алелохемикалија из супстрата, стеље и листова ових врста на различитим стаништима могу се извести следећи закључци:

- Врста *A. altissima* највише доприноси смањењу рН вредности и повећању укупног садржаја С у супстрату, док *R. pseudoacacia* има ризосферни супстрат са највећим вредностима рН. На основу компаративне анализе између испитиваних биљних врста на различитим стаништима изводи се закључак да повећању садржаја N у ризосферном супстрату највише доприноси врста *A. altissima* и *A. fruticosa*, док знатно мање доприноси *R. pseudoacacia*. Врста *A. altissima* значајно утиче на смањење опсега C/N у супстрату, што је нарочито изражено на депонији пепела, док *A. fruticosa* и *R. pseudoacacia* имају мањи утицај на смањење вредности односа C/N у супстрату. Врсте *A. altissima* и *A. fruticosa* доприносе значајном повећању садржаја P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O у супстрату у односу на *R. pseudoacacia*.
- Повећању количине Cr у ризосферном супстрату највише су допринеле врсте *A. altissima* и *A. fruticosa*, док је садржај Cr био најнижи у ризосферном супстрату *R. pseudoacacia*. Компаративне анализе показују да врста *A. altissima* највише доприноси повећању концентрације Cu у ризосферном супстрату у односу на *A. fruticosa* и *R. pseudoacacia*. Добијени резултати показују да није било значајних разлика у садржају Mn између ризосферног и контролног супстрата испитиваних врста биљака на различитим стаништима, али се генерално већим концентрацијама Mn у ризосферном супстрату карактерисала врста *A. altissima*, што је нарочито било изражено на станишту Делиблатска пешчара. Ризосферни супстрат *A. altissima* карактерисао се већим садржајем Ni у односу на контролни супстрат са испитиваних станишта, за разлику од *R. pseudoacacia* и *A. fruticosa*, где су те разлике биле занемарљиве. Све три врсте подједнако утичу на повећање садржаја Zn у ризосферном супстрату у односу на контролни супстрат.
- На свим истраживаним стаништима концентрације Zn у супстрату су биле значајно испод просечних вредности, изузев алувијалног наноса Велике Мораве, где је Zn био у нормалним границама. На овом станишту је концентрација Cr била испод просечних вредности за земљиште. Садржај Ni је био значајно изнад просечних вредности у супстрату из Делиблатске пешчаре и депоније пепела. На јаловишту азбеста су концентрације Cu и Ni, а на кречњачком станишту Cr, Cu, Mn и Ni биле изнад просечних вредности за земљиште. У супстрату са алувијалног наноса Велике Мораве концентрације Mn и Ni биле су изнад просечног опсега за земљиште.
- Листови *R. pseudoacacia* на испитиваним стаништима су се генерално карактерисали дефицитом Zn и токсичним садржајем Ni. Листови *A. altissima* се карактеришу дефицитом Mn, док су концентрације Cr биле изразито високе. Код *A. fruticosa*, садржај Cr у листовима је био токсичан.

- Стеља испитиваних врста на различитим стаништима је имала веће концентрације хемијских елемената у односу на листове, услед директне апсорпције метала из супстрата у стељу, акумулације метала на крају сезоне у листовима биљака и ослобађањем из биљног тела опадањем листова и минерализацијом стеље.
- Садржај алелохемикалија (фенолних једињења и хемијских елемената) у ризосферном супстрату испитиваних врста биљака и њихова алелопатска активност варирали су у зависности од типа станишта, као и типа супстрата (контролни/ризосферни). Садржај алелохемикалија (фенолних једињења и хемијских елемената) у биљном материјалу испитиваних врста биљака и њихова алелопатска активност варирала је у зависности од типа станишта, као и типа биљног материјала (лист/стеља).
- Ризосферни супстрат испитиваних врста биљака се карактерисао већим садржајем фенолних једињења и хемијских елемената у односу на контролни супстрат. Већи садржај фенолних једињења (3,5-DHBA, 3-NBA, ферулинске киселине, *n*-кумаринске киселине и рутина) био је заступљен у ризосферном супстрату испитиваних врста из Делиблатске пешчаре и депоније пепела, док се супстрат са јаловишта азбеста, кречњачког станишта и алувијалног наноса Велике Мораве издвајао по високом садржају испитиваних хемијских елемената (Cr, Cu, Fe, Mn, Ni и Zn).
- Разлике између контролног и ризосферног супстрата испитиваних врста биљака биле су највише изражене на депонији пепела, где се ризосферни супстрат карактерисао већим садржајем C, N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, Cr, Cu, Fe, Ni и Zn, као и садржајем испитиваних фенолних једињења (3,5-DHBA, 3-NBA, *n*-кумаринске киселине, ферулинске киселине и рутина).
- Инхибиција раста коренка *T. pratense* код контролног супстрата на различитим стаништима везана је за потенцијално токсичне ефекте тешких метала (Ni, Cr и Cu), док је код ризосферног супстрата већа инхибиција раста коренка *T. pratense* последица алелопатских ефеката фенолних једињења која се ослобађају из испитиваних инвазивних биљних врста у супстрат.
- Ризосферни супстрат *A. altissima* показао је веће вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* у биотестовима са супстратом у односу на контролни супстрат код сва три истраживана станишта. Веће вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* код супстрата испитиваних врста биљака биле су везане за ниже вредности рН супстрата, већи садржај C, N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O, као и за веће вредности испитиваних хемијских елемената (Cr, Cu, Fe, Mn, Ni и Zn) и фенолних једињења у супстрату (3,5-DHBA, 3-NBA, *n*-кумаринске киселине, ферулинске киселине и рутина).
- Вредности инхибиције раста код листова испитиваних биљних врста биле су у позитивној корелацији са концентрацијама испитиваних фенолних једињења (3,5-DHBA, 3-NBA, *n*-кумаринске киселине и рутина). Садржај

фенолних једињења и алелопатска активност у листовима и стељи испитиваних биљака зависила је од садржаја хемијских елемената. Токсичан садржај хемијских елемената (Ni и Cr), као и дефицит одређених елемената (Zn и Mn) допринели су већем садржају фенолних једињења у листовима и њиховој инхибиторној активности. Дефицит Zn и Mn био је узрокован ниским садржајем у супстрату и алкалном реакцијом супстрата, а токсичан садржај Ni и Cr већом мобилношћу ових елемената у условима већих рН вредности и изразито високим концентрацијама у супстрату.

- Стеља *A. fruticosa* и *A. altissima* се карактерисала већим садржајем фенолних једињења и инхибицијом раста коренка *T. pratense* у односу на стељу *R. pseudoacacia*. Разлике у садржају фенолних једињења и њиховој алелопатској активности између листова и стеље на различитим стаништима биле су веће код *R. pseudoacacia* него код *A. altissima* и *A. fruticosa*.
- Резултати испитивања директне и индиректне алелопатске активности указују на већи алелопатски потенцијал *A. altissima* и *A. fruticosa* у односу на *R. pseudoacacia* на испитиваним стаништима. Алелопатија представља потенцијално важан механизам у процесу инвазије испитиваних биљних врста, али стварни значај алелопатских ефеката инвазивних биљних врста не може бити одвојен од одређеног типа станишта и биљне заједнице или посматран изоловано од других интеракција у екосистему.
- Испитиване инвазивне врсте биљака могу позитивно деловати на иницијацију педогенезе у антропогено измењеним и деградираним екосистемима, који се одликују неплодним супстратима са релативно токсичним концентрацијама одређених тешких метала. На оваквим стаништима, испитиване биљке могу бити погодне за обнову вегетације, јер имају ефикасан утицај на биогеохемијске циклусе и стварање земљишта, али се пажња мора усмерити и на ризике од ширења популација и инвазије ових врста (нарочито *A. altissima* и *A. fruticosa*) на суседна станишта, што може бити штетно по аутохтони биодиверзитет и функционисање природних екосистема.

## **8. Литература**

---

- Aarnio, T., Martikainen, P. J. (1994). Mineralization of carbon and nitrogen in acid forest soil treated with fast and slow-release nutrients. *Plant and soil*, 164(2), 187-193.
- Abu-Romman, S. (2016). Differential allelopathic expression of different plant parts of *Achillea biebersteinii*. *Acta Biologica Hungarica*, 67(2), 159-168.
- Adriano, D. C., Page, A. L., Elseewi, A. A., Chang, A. C., Straughan, I. (1980). Utilization and disposal of fly ash and other coal residues in terrestrial ecosystems: a review. *Journal of Environmental quality*, 9(3), 333-344.
- Aerts, R. (1996). Nutrient resorption from senescing leaves of perennials: are there general patterns? *J. Ecol.*, 597-608.
- Aerts, R., Ewald, M., Nicolas, M., Piat, J., Skowronek, S., Lenoir, J., Honnay, O. (2017). Invasion by the alien tree *Prunus serotina* alters ecosystem functions in a temperate deciduous forest. *Frontiers in plant science*, 8, 179.
- Ahlawat, I. P. S., Gangaiah, B., Zahid, M. A. (2007). Nutrient management in chickpea. *Chickpea breeding and management*, 213-232.
- Akula, R., Ravishankar, G. A. (2011). Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. *Plant signaling & behavior*, 6(11), 1720-1731.
- Alday, J. G., Marrs, R. H., Martinez-Ruiz, C. (2012). Soil and vegetation development during early succession on restored coal wastes: a six-year permanent plot study. *Plant and Soil*, 353(1), 305-320.
- Aldrich, J.D. (1984). *Weed-crop Ecology: Principles and Practices*, pp: 215-241. Breton Publishers.
- Allison, S. D., Vitousek, P. M. (2004). Rapid nutrient cycling in leaf litter from invasive plants in Hawaii. *Oecologia*, 141(4), 612-619.
- Alloway, B. J. (2008). *Zinc in soils and crop nutrition*. 2nd Edition, IZA and IFA, Brussels, Belgium and Paris, France.
- Alloway, B.J. (1990). *Heavy metals in soil*. Blackie and Son Ltd., London, 339 pp.
- Alpert, P., Bone, E., Holzappel, C. (2000). Invasiveness, invasibility and the role of environmental stress in the spread of non-native plants. *Perspectives in plant ecology, evolution and systematics*, 3(1), 52-66.
- Al-Turki, A. I., Dick, W. A. (2003). Myrosinase activity in soil. *Soil Science Society of America Journal*, 67(1), 139-145.
- An, M., Pratley, J. E., Haig, T. (2001). Phytotoxicity of *Vulpia* residues: IV. Dynamics of allelochemicals during decomposition of *Vulpia* residues and their corresponding phytotoxicity. *Journal of Chemical Ecology*, 27(2), 395-409.
- Anačkov G, Bjelić-Čabrilo O., Karaman I., Karaman M., Radenković S., Radulović S., Vukov D., Boža P., editors. (2011). *List of invasive species in AP Vojvodina*. Novi Sad (Serbia), Department of Biology and Ecology.
- Anačkov, G., Rat, M., Radak, B., Igić, R., Vukov., D., Rućando, M., Krstivojević, M., Radulović., S., Cvijanović, D., Milić, D., Panjković, B., Szabados, K., Perić, R., Kiš, A., Stojšić, V., Boža, P. (2013). Alien invasive neophytes of the Southeastern part of the Pannonian Plain. *Central European Journal of Biology*. 8(10):1032-1043.
- Anaya, A. L. (1999). Allelopathy as a tool in the management of biotic resources in agroecosystems. *Critical reviews in plant sciences*, 18(6), 697-739.
- Anderson, J.M., Pylotitis, N.A. (1996). Studies with manganese deficient chloroplasts. *Biochemistry and Biophysics Acta*, 189, 280-293.

- Andreoni, V., Cavalca, L., Rao, M.A., Nocerino, G., Bernasconi, S., Dell'Amico, E., Colombo, M. Gianfreda, L. (2004). Bacterial communities and enzyme activities of PAHs polluted soils. *Chemosphere* 57, 401-412.
- Antić, M., Avdalović, V., Jović, N. (1969). Evolucija, genetička povezanost i ekološka vrednost pojedinih vrsta peskova Deliblatske peščare. Deliblatski pesak, Zbornik radova I, Jugoslovenski poljoprivredno-šumarski centar i ŠIK Pančevo. 47-66.
- Aref, F. (2011). Zinc and boron content by maize leaves from soil and foliar application of zinc sulfate and boric acid in zinc and boron deficient soils. *Middle-East J. Sci. Res.* 7(4), 610-618.
- Ashby, W. C., Baker, M. B. (1968). Soil nutrients and tree growth under black locust and shortleaf pine overstories in strip-mine plantings. *Journal of Forestry*, 66(1), 67-71.
- Aslam, F., Khaliq, A., Matloob, A., Tanveer, A., Hussain, S., Zahir, Z. A. (2017). Allelopathy in agroecosystems: a critical review of wheat allelopathy-concepts and implications. *Chemoecology*, 27(1), 1-24.
- Aziz, S., Shaukat, S. S. (2015). Degradation of phenolics in *Digera muricata*: phytotoxic effects of root and shoot leachate plus n fertilization on the growth of millet. *Pak J Bot*, 47, 287-290.
- Badalamenti, E., La Mantia, T. (2013). Stem-injection of herbicide for control of *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle: a practical source of power for drilling holes in stems. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 6(3), 123.
- Baker, H. G. (1986). Patterns of plant invasion in North America. In *Ecology of biological invasions of North America and Hawaii* (pp. 44-57). Springer, New York, NY.
- Baker, L. J., Bowmaker, G. A., Hart, R. D., Harvey, P. J., Healy, P. C., White, A. H. (1994). Structural, Far-IR, and Solid State 31P NMR Studies of Two-Coordinate Complexes of Tris (2, 4, 6-trimethoxyphenyl) phosphine with Copper (I) Iodide. *Inorganic Chemistry*, 33(18), 3925-3931.
- Bakker, J. P., Berendse, F. (1999). Constraints in the restoration of ecological diversity in grassland and heathland communities. *Trends in ecology & evolution*, 14(2), 63-68.
- Baldwin, I. T., Schultz, J. C. (1983). Rapid changes in tree leaf chemistry induced by damage: evidence for communication between plants. *Science*, 221(4607), 277-279.
- Bartha, D., Csiszar, A., Zsigmond, V. (2008). Black locust (*Robinia pseudoacacia* L.). The most important invasive plants in Hungary/Ed. by Z. Botta-Ducati, L. Balogh. Vacratot. Inst. Ecol. and Bot. Hung. Acad. Sci., p. 63-76.
- Bartlett, R. J. (1986). Soil redox behavior. *Soil physical chemistry*, 179-204.
- Baruch, Z., Fernández, D. S. (1993). Water relations of native and introduced C 4 grasses in a neotropical savanna. *Oecologia*, 96(2), 179-185.
- Batish, D. R., Singh, H. P., Kohli, R. K., Saxena, D. B., Kaur, S. (2002). Allelopathic effects of parthenin against two weedy species, *Avena fatua* and *Bidens pilosa*. *Environmental and experimental botany*, 47(2), 149-155.
- Becerra, P. I., Catford, J. A., Luce McLeod, M., Andonian, K., Aschehoug, E. T., Montesinos, D., Callaway, R. M. (2018). Inhibitory effects of *Eucalyptus globulus* on understorey plant growth and species richness are greater in non-native regions. *Global Ecology and Biogeography*, 27(1), 68-76.
- Beecher, G. R. (2003). Overview of dietary flavonoids: nomenclature, occurrence and intake. *The Journal of nutrition*, 133(10), 3248-3254.
- Bellingham, P. J., Walker, L. R., Wardle, D. A. (2001). Differential facilitation by a nitrogen-fixing shrub during primary succession influences relative performance of canopy tree species. *Journal of Ecology*, 89(5), 861-875.

- Belnap, J., Phillips, S. L., Sherrod, S. K., Moldenke, A. (2005). Soil biota can change after exotic plant invasion: does this affect ecosystem processes?. *Ecology*, 86(11), 3007-3017.
- Belz R.G., Hurlle K. (2005) Differential exudation of two benzoxazinoids - One of the determining factors for seedling allelopathy of Triticeae species. *J Agric Food Chem* 53, 250-261.
- Belz, R. G., Hurlle, K. (2004). A novel laboratory screening bioassay for crop seedling allelopathy. *Journal of chemical ecology*, 30(1), 175-198.
- Benesperi, R., Giuliani, C., Zanetti, S., Gennai, M., Lippi, M. M., Guidi, T., Foggi, B. (2012). Forest plant diversity is threatened by *Robinia pseudoacacia* (black-locust) invasion. *Biodiversity and Conservation*, 21(14), 3555-3568.
- Bennett, R. N., Wallsgrave, R. M. (1994). Secondary metabolites in plant defence mechanisms. *New phytologist*, 127(4), 617-633.
- Bertin C, Yang X, Weston L. A. (2003) The role of root exudates and allelochemicals in the rhizosphere. *Plant Soil* 256, 67–83.
- Bezuidenhout, S. R., Laing, M. (2006). Allelopathy and its influence in soil systems. *Biological approaches to sustainable soil systems*, 231-240.
- Bialic-Murphy, L., Brouwer, N. L., Kalisz, S. (2020). Direct effects of a non-native invader erode native plant fitness in the forest understory. *Journal of Ecology*, 108(1), 189-198.
- Billings, S. A., Richter, D. D. (2006). Changes in stable isotopic signatures of soil nitrogen and carbon during 40 years of forest development. *Oecologia*, 148(2), 325-333.
- Binggeli, P. (1996). A taxonomic, biogeographical and ecological overview of invasive woody plants. *Journal of vegetation Science*, 7(1), 121-124.
- Birkett, M. A., Chamberlain, K., Hooper, A. M., Pickett, J. A. (2001). Does allelopathy offer real promise for practical weed management and for explaining rhizosphere interactions involving higher plants?. *Plant and Soil*, 232(1), 31-39.
- Black, A. L. (1973). Soil property changes associated with crop residue management in a wheat-fallow rotation. *Soil Science Society of America Journal*, 37(6), 943-946.
- Blackburn, T. M., Pyšek, P., Bacher, S., Carlton, J. T., Duncan, R. P., Jarošík, V., Richardson, D. M. (2011). A proposed unified framework for biological invasions. *Trends in ecology & evolution*, 26(7), 333-339.
- Blagojević, M., Konstantinović, B., Samardžić, N., Kurjakov, A., Orlović, S. (2015). Seed bank of *Amorpha fruticosa* L. on some ruderal sites in Serbia. *Journal of Agricultural Science and Technology B*, 5(2), 122-128.
- Bloomfield, C. (1981). The translocation of metals in soils. *The chemistry of soil processes*, 463-504.
- Blum, U. (2006). Allelopathy: a soil system perspective. In: *Allelopathy: a physiological process with ecological implications*. Reigosa, M. J., Pedrol, N., & González, L. (Eds.). (pp. 299-340). Springer, Dordrecht.
- Blum, U., Shafer, S. R., Lehman, M. E. (1999). Evidence for inhibitory allelopathic interactions involving phenolic acids in field soils: concepts vs. an experimental model. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 18(5), 673-693.
- Bobinac, M., Radulović, S. (2002). Prilog proučavanju prizemnog pokrivača podmladnih površina posle primene herbicida na staništu šume lužnjaka i jasena (*Fraxino-Quercetum roboris* Jov. et Tom. 1979). u: Simpozijum o zaštiti bilja i savetovanje o primeni pesticida,(XII). Zlatibor, Zbornik rezimea, Društvo za zaštitu bilja Srbije, 91-91.
- Bobinac, M.T. (1999) Istraživanja prirodne obnove lužnjaka (*Quercus robur* L) i izbor metoda obnavljanja u zavisnosti od stanišnih i sastojinskih uslova. Beograd: Šumarski fakultet, Doktorska disertacija.



- Boer, E. (2013). Risk assessment *Robinia pseudoacacia* L. *Naturalis Biodiversity Center, Leiden*. p 18.
- Borhidi, A., Kevey, B. Lendvai, G. (2012) Plant communities of Hungary. Akademia Kiadó, Budapest.
- Boring, L. R., Swank, W. T. (1984). Symbiotic nitrogen fixation in regenerating black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) stands. *Forest Science*, 30(2), 528-537.
- Boršić, I., Milović, M., Dujmović, I., Bogdanović, S., Cigić, P., Rešetnik, I., Mitić, B. (2008). Preliminary check-list of invasive alien plant species (IAS) in Croatia. *Natura Croatica: Periodicum Musei Historiae Naturalis Croatici*, 17(2), 55-71.
- Boscutti, F., Pellegrini, E., Casolo, V., de Nobili, M., Buccheri, M., Alberti, G. (2020). Cascading effects from plant to soil elucidate how the invasive *Amorpha fruticosa* L. impacts dry grasslands. *Journal of Vegetation Science*, 31(4), 667-677.
- Botta-Dukát, Z. (2008). Invasion of alien species to Hungarian (semi-) natural habitats. *Acta Botanica Hungarica*, 50(1), 219-227.
- Bottollier-Curtet, M., Planty-Tabacchi, A. M., Tabacchi, E. (2013). Competition between young exotic invasive and native dominant plant species: implications for invasions within riparian areas. *Journal of Vegetation Science*, 24(6), 1033-1042.
- Bouhaouel I., Gfeller A., Boudabbous K., Fauconnier M.L., Amara H.S., du Jardin P. (2018). Physiological and biochemical parameters: new tools to screen barley root exudate allelopathic potential (*Hordeum vulgare* L. subsp. vulgare). *Acta Physiol Plant* (40), 38.
- Bowker, D., Stringer J. (2011). Efficacy of herbicide treatments for controlling residual sprouting of tree-of-heaven. In: Fei, Songlin; John M. Lhotka, Jeffrey W. Stringer, Kurt W. Gottschalk, Gary W. Miller, (eds.). Proc., 17th Central Hardwood Forest Conference. Journal American Society of Mining and Reclamation, Volume 2, Issue 2.
- Boyd, R. S., Jaffré, T. (2001). Phytoenrichment of soil Ni content by *Sebertia acuminata* in New Caledonia and the concept of elemental allelopathy. *South African Journal of Science*, 97(11), 535-538.
- Brady, K. U., Kruckeberg, A. R., Bradshaw, H. D., (2005). Evolutionary ecology of plant adaptation to serpentine soils. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, 36, 243-266.
- Branković, S. R. (2014). Uticaj geološke podloge na sadržaj metala u biljkama. *Univerzitet u Kragujevcu, Prirodno-matematički fakultet*. Doktorska disertacija.
- Brigić, A., Vujčić-Karlo, S., Kepčija, R. M., Stančić, Z., Alegro, A., Ternjej, I. (2014). Taxon specific response of carabids (Coleoptera, Carabidae) and other soil invertebrate taxa on invasive plant *Amorpha fruticosa* in wetlands. *Biological invasions*, 16(7), 1497-1514.
- Broadley, M. R., White, P. J., Hammond, J. P., Zelko, I., Lux, A. (2007). Zinc in plants. *New phytologist*, 173(4), 677-702.
- Brooks, R. R., (1987). *Serpentine and its Vegetation: A Multidisciplinary Approach*. Discorides Press, Portland, Oregon, 407-454.
- Brothers, T. S., Spingarn, A. (1992). Forest fragmentation and alien plant invasion of central Indiana old-growth forests. *Conservation Biology*, 6(1), 91-100.
- Brown, J. H., Sax, D. F. (2004). An essay on some topics concerning invasive species. *Austral ecology*, 29(5), 530-536.
- Brown, P. H., Welch, R. M., Cary, E. E., Checkai, R. T. (1987). Micronutrients: beneficial effects of nickel on plant growth. *Journal of plant nutrition*, 10(9-16), 2125-2135.

- Brunetti, G., Soler-Rovira, P., Farrag, K., Senesi, N. (2009). Tolerance and accumulation of heavy metals by wild plant species grown in contaminated soils in Apulia region, Southern Italy. *Plant Soil*, 318, 285-298.
- Bukurov, B. (1954). Geomorfološke prilike Banatskog Podunavlja. *Zbornik radova Geografskog instituta Srpska akademija nauka*. 5, 55-87.
- Bukurov, B. (1955). Opis puta po Vojvodini učesnika IV kongresa geografa FNRJ. – *Zbornik Matice srpske za prirodne nauke*. 9, 143-150.
- Bulla, B. (1938). Der pleistocäne löss im Karpathenbecken, Budapest.
- Bura, D. (ur.) (1969). Deliblatska peščara 1818-1968. Šumsko industrijski kombinat Pančevo.
- Burch, P. L., Zedaker, S. M. (2003). Removing the invasive tree *Ailanthus altissima* and restoring natural cover. *Arboriculture & Urban Forestry*, 29(1), 18.
- Butorac, B., Habijan-Mikeš, V. (1997). Peščarska područja Srbije, Zavod za zaštitu prirode Srbije, Javno preduzeće „Srbijašume“, Javno preduzeće „Palić-Ludaš“
- Butorac, B., Habijan-Mikeš, V., Vider, V. (2002). Opstanak peščara u Vojvodini, Gragoproduct, Subotica.
- Butorac, B., Panjković, B. (2013). Edicija Vegetacija Vojvodine, Knjiga 1, Peščarska vegetacija u Vojvodini. Pokrajinski zavod za zaštitu prirode. Novi Sad.
- CABI, 2021. Invasive Species Compendium. Wallingford, UK: CAB International. www.cabi.org/isc.
- Cakmak, I. (2000). Tansley Review No. 111: possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. *New Phytologist*, 146(2), 185-205.
- Caligiani A., Tonelli L., Palla G., Marseglia A., Rossi D., Bruni R. (2013). Looking beyond sugars: phytochemical profiling and standardization of manna exudates from Sicilian *Fraxinus excelsior* L. *Fitoterapia*, 90, 65–72.
- Call, L. J., Nilsen, E. T. (2005). Analysis of interactions between the invasive tree-of-heaven (*Ailanthus altissima*) and the native black locust (*Robinia pseudoacacia*). *Plant Ecology*, 176(2), 275-285.
- Callaway, R. M., Aschehoug, E. T. (2000). Invasive plants versus their new and old neighbors: a mechanism for exotic invasion. *Science*, 290(5491), 521-523.
- Callaway, R. M., Maron, J. L. (2006). What have exotic plant invasions taught us over the past 20 years?. *Trends in ecology & evolution*, 21(7), 369-374.
- Callaway, R. M., Ridenour, W. M. (2004). Novel weapons: invasive success and the evolution of increased competitive ability. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2(8), 436-443.
- Cano, L., Escarré, J., Fleck, I., Blanco-Moreno, J. M., Sans, F. X. (2008). Increased fitness and plasticity of an invasive species in its introduced range: a study using *Senecio pterophorus*. *Journal of Ecology*, 96(3), 468-476.
- Cao Y.P., Bai G.J., Wang G.Q., Lu C.Y., (1996). Extraction and isolation of toxic constituents from the leaves of *Amorpha fruticosa*. *J. Northwest Forestry College*, 11, 110–112.
- Carballeira, A., Reigosa, M. J. (1999). Effects of natural leachates of *Acacia dealbata* Link in Galicia (NW Spain). *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 40.
- Carlson, C. L., Adriano, D. C. (1991). *Growth and elemental content of two tree species growing on abandoned coal fly ash basins* (Vol. 20, No. 3, pp. 581-587). American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America.
- Castro-Díez, P., Fierro-Brunnenmeister, N., González-Muñoz, N., Gallardo, A. (2012). Effects of exotic and native tree leaf litter on soil properties of two contrasting sites in the Iberian Peninsula. *Plant and Soil*, 350(1), 179-191.

- Castro-Díez, P., González-Muñoz, N., Alonso, A., Gallardo, A., Poorter, L. (2009). Effects of exotic invasive trees on nitrogen cycling: a case study in Central Spain. *Biological Invasions*, 11(8), 1973-1986.
- Catford, J. A., Jansson, R., Nilsson, C. (2009). Reducing redundancy in invasion ecology by integrating hypotheses into a single theoretical framework. *Diversity and distributions*, 15(1), 22-40.
- Chanway, C. P., Holl, F. B., Turkington, R. (1990). Specificity of association between *Bacillus* isolates and genotypes of *Lolium perenne* and *Trifolium repens* from a grass-legume pasture. *Canadian Journal of Botany*, 68(5), 1126-1130.
- Chave, J., Navarrete, D., Almeida, S., Álvarez, E., Aragão, L. E. O. C., Bonal, D., Malhi, Y. (2009). Regional and temporal patterns of litterfall in tropical South America. *Biogeosciences Discussions*, 6(4).
- Cheeke P.R. (1992). Black locust forage as an animal foodstuff. In: Hanover JW, Miller K, Plesko S, eds. Proceedings, International Conference on black locust: biology, culture, & utilization. Michigan, USA: Department of Forestry, Michigan State University: 252-258.
- Chen, C., Huang, D., Liu, J. (2009). Functions and toxicity of nickel in plants: recent advances and future prospects. *Clean-soil, air, water*, 37(4-5), 304-313.
- Cheng, H. H. (1992). A conceptual framework for assessing allelochemicals in the soil environment. In *Allelopathy* (pp. 21-29). Springer, Dordrecht.
- Cheng, H. H., Koskinen, W. C. (2010). Effects of “aging” on bioreactive chemical retention, transformation, and transport in soil. In *Molecular Environmental Soil Science at the Interfaces in the Earth’s Critical Zone* (pp. 184-186). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Cho, M. J., Howard, L. R., Prior, R. L., Clark, J. R. (2004). Flavonoid glycosides and antioxidant capacity of various blackberry, blueberry and red grape genotypes determined by high-performance liquid chromatography/mass spectrometry. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84(13), 1771-1782.
- Cholnoky, J. (1910). Az Alföld felszíne. *Földrajzi Közlemények* 38, 413–436.
- Chou, C. H. (2006). Introduction to allelopathy. In *Allelopathy* (pp. 1-9). Springer, Dordrecht.
- Chou, C. H., Leu, L. L. (1992). Allelopathic substances and interactions of *Delonix regia* (BOJ) Raf. *Journal of Chemical Ecology*, 18(12), 2285-2303.
- Christina, M., Rouifed, S., Puijalón, S., Vallier, F., Meiffren, G., Bellvert, F., Piola, F. (2015). Allelopathic effect of a native species on a major plant invader in Europe. *The Science of Nature*, 102(3-4), 12.
- Chytrý, M., Maskell, L. C., Pino, J., Pyšek, P., Vilà, M., Font, X., Smart, S. M. (2008). Habitat invasions by alien plants: a quantitative comparison among Mediterranean, subcontinental and oceanic regions of Europe. *Journal of Applied Ecology*, 45(2), 448-458.
- Chytrý, M., Pyšek, P., Wild, J., Pino, J., Maskell, L. C., Vilà, M. (2009). European map of alien plant invasions based on the quantitative assessment across habitats. *Diversity and Distributions*, 15(1), 98-107.
- Cierjacks, A., Kowarik, I., Joshi, J., Hempel, S., Ristow, M., von der Lippe, M., Weber, E. (2013). Biological flora of the British Isles: *Robinia pseudoacacia*. *Journal of ecology*, 101(6), 1623-1640.
- Cisternas, R., Mignolet, R. (1982). Accumulation of lead in decomposing litter. *Oikos*, 361-364.
- Ciuvat, A. L., Vasile, D., Dinu, C., Apostol, E., Apostol, B., Petritan, A. M. (2016). Valorisation possibilities of invasive indigobush (*Amorpha fruticosa* L.) in Romania. *Revista de Silvicultură și Cinegetică*, 21(39), 96-99.

- Cohen, S. D., Kennedy, J. A. (2010). Plant metabolism and the environment: implications for managing phenolics. *Critical reviews in food science and nutrition*, 50(7), 620-643.
- Colautti, R. I., MacIsaac, H. J. (2004). A neutral terminology to define 'invasive' species. *Diversity and distributions*, 10(2), 135-141.
- Constán-Nava, S., Bonet, A. (2012). Genetic variability modulates the effect of habitat type and environmental conditions on early invasion success of *Ailanthus altissima* in Mediterranean ecosystems. *Biological Invasions*, 14(11), 2379-2392.
- Converse, C. K. (1984). Element stewardship abstract for *Robinia pseudoacacia* (Black Locust). *Edizione su sito internet <http://www.imapinvasives.org/GIST/ESA/esapages/robipseu.html>, anno.*
- Cronk, Q. C., Fuller, J. L., Cowling, R. M., Richardson, D. M. (1995). Plant invaders. *Trends in Ecology and Evolution*, 10(12), 508-508.
- Crozier, A., Clifford, M. N., Ashihara, H. (Eds.). (2008). *Plant secondary metabolites: occurrence, structure and role in the human diet*. John Wiley & Sons.
- Csiszár, Á. (2009). Allelopathic effects of invasive woody plant species in Hungary. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*, 5, 9-17.
- Csiszár, Á., Korda, M., Schmidt, D., Šporčić, D., Süle, P., Teleki, B., Bartha, D. (2013). Allelopathic potential of some invasive plant species occurring in Hungary. *Allelopathy Journal*, 31(2), 309-318.
- Cullen J. (1995). *Amorpha* L. In: The European Garden Flora. Volume 4, [ed. by Cullen J, Alexander JCM, Brady A, Brickell CD, et al.]. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Cutler, D. F. (1978). Survey and identification of tree roots. *Arboricultural Journal*, 3(4), 243-246.
- Cvetković, D. M., Jovankić, J. V., Milutinović, M. G., Nikodijević, D. D., Grbović, F. J., Ćirić, A. R., Marković, S. D. (2019). The anti-invasive activity of *Robinia pseudoacacia* L. and *Amorpha fruticosa* L. on breast cancer MDA-MB-231 cell line. *Biologia*, 74(7), 915-928.
- Cvijić, J. (1924). Geomorfologija, Knjiga I, Beograd, Državna štamparija Kraljevine Jugoslavije, p. 588.
- Czarnota M.A., Rimando A.M., Weston L.A. (2003). Evaluation of root exudates of seven sorghum accessions. *J Chem Ecol*, 29, 2073-2083.
- Ćirić, M. (1991). Pedologija. Svijetlost, Sarajevo, p. 311.
- Ćuk, M. (2019). Status i vremenska dinamika flore i vegetacije Deliblatske peščare. *Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet*. Doktorska disertacija
- Daehler, C. C. (2003). Performance comparisons of co-occurring native and alien invasive plants: implications for conservation and restoration. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 34(1), 183-211.
- Dai, J., Mumper, R. J. (2010). Plant phenolics: extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties. *Molecules*, 15(10), 7313-7352.
- Dakora, F. D., Phillips, D. A. (2002). Root exudates as mediators of mineral acquisition in low-nutrient environments. *Food security in nutrient-stressed environments: Exploiting plants' genetic capabilities*, 201-213.
- Dalton B.R., Blum U., Weed S.B. (1989). Differential sorption of exogenously applied ferulic, *p*-coumaric, *p*-hydroxybenzoic, and vanillic acids in soil. *Soil Sci Soc Am J.*, 53(3), 757-62.
- De Kovel, C. F., Wilms, Y. J. O., Berendse, F. (2000). Carbon and nitrogen in soil and vegetation at sites differing in successional age. *Plant Ecology*, 149 (1), 43-50.

- De Marco, A., Arena, C., Giordano, M., De Santo, A. V. (2013). Impact of the invasive tree black locust on soil properties of Mediterranean stone pine-holm oak forests. *Plant and soil*, 372(1), 473-486.
- DeFerrari, C. M., Naiman, R. J. (1994). A multi-scale assessment of the occurrence of exotic plants on the Olympic Peninsula, Washington. *Journal of Vegetation Science*, 5(2), 247-258.
- DeGomez, T., Wagner, M. R. (2001). Culture and use of black locust. *HortTechnology*, 11(2), 279-288.
- Del Fabbro, C., Güsewell, S., Prati, D. (2014). Allelopathic effects of three plant invaders on germination of native species: a field study. *Biological invasions*, 16(5), 1035-1042.
- Dijkstra, F. A., Wrage, K., Hobbie, S. E., Reich, P. B. (2006). Tree patches show greater N losses but maintain higher soil N availability than grassland patches in a frequently burned oak savanna. *Ecosystems*, 9(3), 441-452.
- Diklić N. (1972a) Rod *Robinia* L. 1754. Flora SR Srbije IV. Josifović M. (ur.), Srpska akademija nauka i umetnosti. pp. 271-272.
- Diklić N. (1972b). Rod *Amorpha* L. 1754. Flora SR Srbije IV. Josifović, M. (ur.), Srpska akademija nauka i umetnosti. pp. 312-313.
- Ding, J., Wu, Y., Zheng, H., Fu, W., Reardon, R., Liu, M. (2006). Assessing potential biological control of the invasive plant, tree-of-heaven, *Ailanthus altissima*. *Biocontrol Science and Technology*, 16(6), 547-566.
- DiTomaso, J. M. (2000). Invasive weeds in rangelands: species, impacts, and management. *Weed science*, 48(2), 255-265.
- DiTomaso, J. M., Kyser, G. B. (2007). Control of *Ailanthus altissima* using stem herbicide application techniques. *Arboriculture and Urban Forestry*, 33(1), 55.
- Dixon R. A. (2001). Natural products and plant disease resistance. *Nature*, 411, 843-847.
- Dixon, N. E., Gazzola, C., Blakeley, R. L., Zerner, B. (1975). Jack bean urease (EC 3.5. 1.5). Metalloenzyme. Simple biological role for nickel. *Journal of the American Chemical Society*, 97(14), 4131-4133.
- Dixon, R. A., Paiva, N. L. (1995). Stress-induced phenylpropanoid metabolism. *The plant cell*, 7(7), 1085.
- Dozet, D., Nešić, L., Belić, M., Bogdanović, D., Ninkov, J., Zeremski, T., Banjac, B. (2011). Poreklo i sadržaj nikla u aluvijalno-deluvijalnim zemljištima Srema. *Ratar. Povrt*, 48, 369-374.
- Dragičević, S., Karić, I. (2003). Opština Obrenovac u Regionu Beograd – prirodne determinante. Beograd i ljevov region. Geografski fakultet, Univerziteta u Beogradu, Asocijacija prostornih planera Srbije, Beograd, 140-148.
- Du, B., Pang, J., Hu, B., Allen, D. E., Bell, T. L., Pfautsch, S., Rennenberg, H. (2019). N<sub>2</sub>-fixing black locust intercropping improves ecosystem nutrition at the vulnerable semi-arid Loess Plateau region, China. *Science of the total environment*, 688, 333-345.
- Dubikova, M., Jankowski, J., Ward, C., French, D. (2006). Modelling element mobility in water-flyash interactions. Research report. Cooperative Research Centre for Coal in Sustainable Development (Australia), 61.
- Ducić, V., Milovanović, B. (2004). Termičke specifičnosti Deliblatske (Banatske) peščare. *Zbornik radova geografskog fakulteta*, 52.
- Duda, J. J., Freeman, D. C., Emlen, J. M., Belnap, J., Kitchen, S. G., Zak, J. C., Montante, J. (2003). Differences in native soil ecology associated with invasion of the exotic annual chenopod, *Halogeton glomeratus*. *Biology and Fertility of Soils*, 38(2), 72-77.

- Dudt, J. F., Shure, D. J. (1994). The influence of light and nutrients on foliar phenolics and insect herbivory. *Ecology*, 75(1), 86-98.
- Dukes, J. S., Mooney, H. A. (1999). Does global change increase the success of biological invaders?. *Trends in Ecology & Evolution*, 14(4), 135-139.
- Dumitrascu, M., Grigorescu, I., Nastase, M., Dragota, C., Kucsicsa, G. (2010). The main environmental driving forces of the invasive plant species in the Romanian protected areas. In Proceedings of BALWOIS Conference on Water Observation and Information Systems for Decision Support (pp. 1-12).
- Dyakov, N., Zhelev, P. (2013). Alien species invasion and diversity of riparian forest according to environmental gradients and disturbance regime. *Applied ecology and environmental research*, 11(2), 249-272.
- Dzwonko, Z., Loster, S. (1997). Effects of dominant trees and anthropogenic disturbances on species richness and floristic composition of secondary communities in southern Poland. *Journal of Applied Ecology*, 861-870.
- Džamić, R. A., D. Stevanović, M. Jakovljević (1996). *Praktikum iz agrohemije*. Poljoprivredni fakultet, Beograd,.
- Dželetović, Ž., Filipović R. (1995). Grain characteristics of crops grown on power plant ash and bottom slag deposit. *Resources, Conservation and Recycling*, 13, 105-113.
- Đorđević, J., Panić, M. (2006). Natural characteristics as a request for development of Obrenovac municipality. *Bulletin of the Serbian geographical society*, 86(2), 63-74.
- Đurđević, L., Dinic, A., Pavlovic, P., Mitrovic, M., Karadzic, B., Tesevic, V. (2004). Allelopathic potential of *Allium ursinum* L. *Biochemical Systematics and Ecology*, 32(6), 533-544.
- Đurđević, L., Gajić, G., Kostić, O., Jarić, S., Pavlović, D., Mitrović, M., Pavlović, P. (2013). Allelopathic effects of *Chrysopogon gryllus* L. in Chrysopogonetum Pannonicum Stjep.-Ves. steppe community at Deliblato Sands (Serbia). *Allelopathy Journal*, 32(1).
- Đurđević, L., Gajić, G., Kostić, O., Jarić, S., Pavlović, M., Mitrović, M., Pavlović, P. (2012). Seasonal dynamics of allelopathically significant phenolic compounds in globally successful invader *Conyza canadensis* L. plants and associated sandy soil. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 207(11), 812-820.
- Đurđević, L., Mitrović, M., Gajić, G., Jarić, S., Kostić, O., Oberan, L., Pavlović, P. (2011). An allelopathic investigation of the domination of the introduced invasive *Conyza canadensis* L. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 206(11), 921-927.
- Đurđević, L., Mitrović, M., Pavlović, P., Gajić, G., Kostić, O. (2006). Phenolic acids as bioindicators of fly ash deposit revegetation. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 50(4), 488-495.
- Đurđević, L., Pavlović, P., Mitrović, M. (2010). The effects of phenolic compounds on soil properties. *Soil Phenols*, 31-62.
- Đurić, J., (1979). Flora brda Čukare u Kotraži kod Strgara. *Prirodno-matematički fakutet, Univerzitet u Kragujevcu*. Diplomski rad.
- Egner H., Riehm H., Domingo W.R. (1960). Investigations on the chemical soil analysis as a basis for assessing the soil nutrient status. II: Chemical extraction methods for phosphorus and potassium determination. *Kunliga Lantbrukshögskolans Annaler*, 26, 199-215.
- Ehrenfeld, J. G. (2003). Effects of exotic plant invasions on soil nutrient cycling processes. *Ecosystems*, 6(6), 503-523.
- Ehrenfeld, J. G., Scott, N. (2001). Invasive species and the soil: effects on organisms and ecosystem processes 1. *Ecological Applications*, 11(5), 1259-1260.

- Einhellig, F. A. (1996). Interactions involving allelopathy in cropping systems. *Agronomy Journal*, 88(6), 886-893.
- Ekschmitt, K., Kandeler, E., Poll, C., Brune, A., Buscot, F., Friedrich, M., Wolters, V. (2008). Soil-carbon preservation through habitat constraints and biological limitations on decomposer activity. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 171(1), 27-35.
- Elton, C.S. (1958). *The ecology of invasions by animals and plants*. Methuen, London, p. 181.
- Enescu, C. M. (2014). The role of Tree-of-Heaven in Forest Land Reclamation: A Brief. *Journal. of Horticulture, Forestry and Biotechnology*, 18(2), 66-69.
- Eschtruth, A. K., Battles, J. J. (2011). The importance of quantifying propagule pressure to understand invasion: an examination of riparian forest invasibility. *Ecology*, 92(6), 1314-1322.
- Eskew, D. L., Welch, R. M., Norvell, W. A. (1984). Nickel in higher plants: further evidence for an essential role. *Plant Physiology*, 76(3), 691-693.
- Essl, F., Dullinger, S., Kleinbauer, I. (2009). Changes in the spatio-temporal patterns and habitat preferences of *Ambrosia artemisiifolia* during its invasion of Austria. *Preslia*, 81(2), 119-133.
- Faragó, S. A bálványfa (1964). In Erdészeti kutatások; Lengyel, Gy., Ed.; Mezőgazdasági Könyv- és Folyóiratkiadó Vállalat: Budapest, Hungary, 60, pp. 87–110.
- Fedorov, Flora of Russia (2001). The European Part and Bordering Regions - Volume 6 (CRC Press, Boca Raton, Florida, USA).
- Feret, P. P. (1985). *Ailanthus*: variation, cultivation, and frustration. *Journal of Arboriculture*, 11(12), 361-368.
- Fettweis, U., Bens, O., Hüttl, R. F. (2005). Accumulation and properties of soil organic carbon at reclaimed sites in the Lusatian lignite mining district afforested with *Pinus* sp. *Geoderma*, 129(1-2), 81-91.
- Filipović, R., Simić, S., Stojanović, D., Dražić, G., Dželetović, Ž. Lazarević, M. (1993). Termoelektrane kao potencijalni zagađivaci ekosistema, s posebnim osvrtom na deponije pepela. Zbornik radova sa savetovanja: "Energetika Beograda, stanje i perspektive", Beograd, Savez društava inženjera i tehničara Beograda, p. 371-379.
- Fleischmann, K. (1997). Invasion of alien woody plants on the islands of Mahé and Silhouette, Seychelles. *Journal of Vegetation Science*, 8(1), 5-12.
- Frey, B., Stemmer, M., Widmer, F., Luster, J., Sperisen, C. (2006). Microbial activity and community structure of a soil after heavy metal contamination in a model forest ecosystem. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(7), 1745-1756.
- Frouz, J., Prach, K., Pižl, V., Háněl, L., Starý, J., Tajovský, K., Řehouňková, K. (2008). Interactions between soil development, vegetation and soil fauna during spontaneous succession in post mining sites. *European journal of soil biology*, 44(1), 109-121.
- Fujii, Y., Furubayashi, A., Hiradate, S. (2005). Rhizosphere soil method: a new bioassay to evaluate allelopathy in the field. In *Proceedings of the 4th World Congress on Allelopathy: Establishing the Scientific Base*. (pp. 21-26).
- Fujii, Y., S.S. Parvez, M.M. Parvez, Y. Ohmae and Y. Iida. (2003). Screening of 239 medicinal plant species for allelopathic activity using the sandwich method. *Weed Biol. Manag.*, 3, 233-241.
- Fujii, Y., Shibuya, T., Nakatani, K., Itani, T., Hiradate, S., Parvez, M. M. (2004). Assessment method for allelopathic effect from leaf litter leachates. *Weed Biology and Management*, 4(1): 19-23.
- Gaertner, M., Den Breeyen, A., Hui, C., Richardson, D. M. (2009). Impacts of alien plant invasions on species richness in Mediterranean-type ecosystems: a meta-analysis. *Progress in Physical Geography*, 33(3), 319-338.

- Gajić, R., Mihajlović, L., Glavendekić, M. (2008). *Acanthoscelides pallidipennis* (Coleoptera: Bruchidae), spermatofaga bagremca (*Amorpha fruticosa* L.) i njeni prirodni neprijatelji u Srbiji. *Acta herbologica*, 17(2), 195-201.
- Gajić, G. (2014). Ekofiziološke adaptacije odabranih vrsta zeljastih biljaka na deponiji pepela termoelektrane 'Nikola Tesla-A' u Obrenovcu. *Univerzitet u Beogradu, Biološki fakultet, Doktorska disertacija*, 1-406.
- Gajić, G., Đurđević, L., Kostić, O., Jarić, S., Mitrović, M., Pavlović, P. (2018). Ecological potential of plants for phytoremediation and ecorestoration of fly ash deposits and mine wastes. *Frontiers in Environmental Science*, 6, 124.
- Gajić, G., Đurđević, L., Kostić, O., Jarić, S., Mitrović, M., Stevanović, B., Pavlović, P. (2016). Assessment of the phytoremediation potential and an adaptive response of *Festuca rubra* L. sown on fly ash deposits: Native grass has a pivotal role in ecorestoration management. *Ecological Engineering*, 93, 250-261.
- Gajić, G., Đurđević, L., Kostić, O., Jarić, S., Stevanović, B., Mitrović, M., Pavlović, P. (2020). Phytoremediation Potential, Photosynthetic and Antioxidant Response to Arsenic-Induced Stress of *Dactylis glomerata* L. Sown on Fly Ash Deposits. *Plants*, 9(5), 657.
- Gajić, G., Pavlović, P., Kostić, O., Jarić, S., Đurđević, L., Pavlović, D., Mitrović, M. (2013). Ecophysiological and biochemical traits of three herbaceous plants growing on the disposed coal combustion fly ash of different weathering stage. *Archives of Biological Sciences*, 65(4), 1651-1667.
- Gajić, M. (ur.) 1983. Flora Deliblatske peščare. prirodno-matematički fakultet OOUR Institut za biologiju Novi Sad i Šumsko-industrijski kombinat „Pančevo“ OOUR specijalni prirodni rezervat „Deliblatski pesak“.
- Gallardo, A., Merino, J. (1992). Nitrogen immobilization in leaf litter at two Mediterranean ecosystems of SW Spain. *Biogeochemistry*, 15(3), 213-228.
- Gao, H. H., Li, W., Yang, J., Wang, Y., Guo, G. Q., Zheng, G. C. (2003). Effect of 6-benzyladenine and casein hydrolysate on micropropagation of *Amorpha fruticosa*. *Biologia plantarum*, 47(1), 145-148.
- Gederaas L., Moen T. L., Skjelseth S., Larsen L.-K., eds. (2012). Alien species in Norway - with the Norwegian Black List. The Norwegian Biodiversity Information Centre, Norway.
- Genovesi, P., Shine, C. (2004). *European strategy on invasive alien species: Convention on the Conservation of European Wildlife and Habitats (Bern Convention)* (No. 18-137). Council of Europe.
- Gensci, L., Vancsura, R. (1992). *Dendrológia. [Dendrology.] – Mezőgazda, Budapest*, 728 pp.
- Ghaderian, S. M., Mohtadi, A., Rahiminejad, R., Reeves, R. D., Baker, A. J. M. (2007). Hyperaccumulation of nickel by two *Alyssum* species from the serpentine soils of Iran. *Plant and Soil*, 293(1), 91-97.
- Glišić, M., Lakušić, D., Šinžar-Sekulić, J., Jovanović, S. (2014). GIS analysis of spatial distribution of invasive tree species in the protected natural area of Mt Avala (Serbia). *Botanica Serbica*, 38(1), 131-138.
- Goldberg, N., Heine, J. (2009). A comparison of arborescent vegetation pre-(1983) and post-(2008) outbreak of the invasive species the Asian ambrosia beetle *Xyleborus glabratus* in a Florida maritime hammock. *Plant Ecology & Diversity*, 2(1), 77-83.
- Gómez-Aparicio, L., Canham, C. D. (2008). Neighbourhood analyses of the allelopathic effects of the invasive tree *Ailanthus altissima* in temperate forests. *Journal of Ecology*, 96(3), 447-458.
- Goodwin, B. J., McAllister, A. J., Fahrig, L. (1999). Predicting invasiveness of plant species based on biological information. *Conservation biology*, 13(2), 422-426.



- Gorban, V., Huslysty, A., Kotovych, O., Yakovenko, V. (2020). Changes in Physical and Chemical Properties of Calcic Chernozem Affected by *Robinia pseudoacacia* and *Quercus robur* Plantings. *Ekológia*, 39(1), 27-44.
- Grace, S. C. (2005). Phenolics as antioxidants. *Antioxidants and reactive oxygen species in plants*, 141-168.
- Grace, S. C., Logan, B. A. (1996). Acclimation of foliar antioxidant systems to growth irradiance in three broad-leaved evergreen species. *Plant physiology*, 112(4), 1631-1640.
- Gras M. A., (1991). *Robinia pseudoacacia*: Annotazioni da una rassegna bibliografica. Rome, Italy: SAF.
- Gravano, E., Ferretti, M., Bussotti, F., Grossoni, P. (1999). Foliar symptoms and growth reduction of *Ailanthus altissima* Desf. in an area with high ozone and acidic deposition in Italy. In *Forest Growth Responses to the Pollution Climate of the 21st Century* (pp. 267-272). Springer, Dordrecht.
- Grbić, M., Đukić, M., Skočajić, D., Đunisijević-Bojović, D. (2007). Role of invasive plant species in landscapes of Serbia. In *International Annual ECLAS Conference, 18, Belgrade (Serbia), 10-14 Oct 2007*. University of Belgrade, Faculty of Forestry.
- Greenberg, C. H., Crownover, S. H., Gordon, D. R. (1997). Roadside soils: a corridor for invasion of xeric shrub by nonindigenous plants. *Natural Areas Journal Volume 17* (2), 99-109.
- Gross, E. (1999). Allelopathy in benthic and littoral areas: case studies on allelochemicals from benthic cyanobacteria and submersed macrophytes. *Principles and Practices in Plant Ecology/ Inderjit et al. (ed.)*. – Boca Raton, Fla. : CRC Press, pp. 179-199.
- Grünewald, H., Böhm, C., Quinkenstein, A., Grundmann, P., Eberts, J., von Wühlisch, G. (2009). *Robinia pseudoacacia* L.: a lesser known tree species for biomass production. *BioEnergy Research*, 2(3), 123-133.
- Gubbiga, N. G., Worsham, A. D., Corbin, F. T. (1996). Investigations into the growth suppressing effect of nicosulfuron-treated johnsongrass (*Sorghum halepense*) on corn (*Zea mays*). *Weed science*, 640-644.
- Gupta, D. K., Rai, U. N., Tripathi, R. D., Inouhe, M. (2002). Impacts of fly-ash on soil and plant responses. *Journal of Plant Research*, 115(6), 401-409.
- Gupta, R.K. (1993). *Multipurpose Trees for Agroforestry and Wasteland Utilisation*. Oxford & IBH Publishing, Hindistan. IPCC, 1992. *Climate change 1990 and 1992 assessments*.
- Hafeez, B., Khanif, Y. M., Saleem, M. (2013). Role of zinc in plant nutrition-a review. *Journal of Experimental Agriculture International*, 374-391.
- Hajiboland, R., Amirazad, F. (2010). Growth, photosynthesis and antioxidant defense system in Zn-deficient red cabbage plants. *Plant, Soil and Environment*, 56(5), 209-217.
- Halavats, J. (1884). *Umgebungen von Fehértemplom und Kubin, Blat K-15, 1:144 000 Erläuterungen zu Geob. Special karte der Länder der ungar. Krone, Budapest*.
- Hall, A. B., Blum, U., Fites, R. C. (1982). Stress modification of allelopathy of *Helianthus annuus* L. debris on seed germination. *American Journal of Botany*, 69(5), 776-783.
- Hanover, J. W. (1989). Physiological genetics of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.): a model multipurpose tree species. In *Proc. Conf. on Fast Growing and Nitrogen Fixing Trees, Univ. Marburg, West. Germany* (Vol. 8, No. 12, pp. 175-183).
- Hanover, J. W., Mebrahtu, T. (1991). *Robinia pseudoacacia*: temperate legume tree with worldwide potential. *Robinia pseudoacacia: temperate legume tree with worldwide potential.*, (91-03).
- Harborne, J. B. (1993). *Introduction to ecological biochemistry*. Gulf Professional Publishing.

- Harborne, J. B., Williams, C. A. (2000). Advances in flavonoid research since 1992. *Phytochemistry*, 55(6), 481-504.
- Harborne, J.B. (1977). Introduction to Ecological Biochemistry. London and New York: Academic Press.
- Härdtle, W., von Oheimb, G., Friedel, A., Meyer, H., Westphal, C. (2004). Relationship between pH-values and nutrient availability in forest soils—the consequences for the use of ecograms in forest ecology. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 199(2), 134-142.
- Hättenschwiler, S., Vitousek, P. M. (2000). The role of polyphenols in terrestrial ecosystem nutrient cycling. *Trends in ecology & evolution*, 15(6), 238-243.
- Haworth, R. D. (1971). The chemical nature of humic acid. *Soil Sci*, 111, 71–79.
- Hayek, A. V. (1927). *Prodomus florae peninsulae Balcanicae: Pteridophyta, Gymnospermae, Dicotyledoneae (Apetalae et choripetalae)*. Verlag des Repertoriums.
- Haynes, R. J. (2009). Reclamation and revegetation of fly ash disposal sites—Challenges and research needs. *Journal of environmental management*, 90(1), 43-53.
- Heisey, R. M. (1990). Allelopathic and herbicidal effects of extracts from tree of heaven (*Ailanthus altissima*). *American Journal of Botany*, 77(5), 662-670.
- Heisey, R. M. (1996). Identification of an allelopathic compound from *Ailanthus altissima* (Simaroubaceae) and characterization of its herbicidal activity. *Am J Bot* 83:19
- Heisey, R. M. (1997). Allelopathy and the secret life of *Ailanthus altissima*. *Arnoldia*, 57(3), 28-36.
- Hejda, M., Chytrý, M., Pergl, J., Pyšek, P. (2015). Native-range habitats of invasive plants: are they similar to invaded-range habitats and do they differ according to the geographical direction of invasion?. *Diversity and Distributions*, 21(3), 312-321.
- Hejda, M., Pyšek, P., Jarošík, V. (2009). Impact of invasive plants on the species richness, diversity and composition of invaded communities. *Journal of ecology*, 97(3), 393-403.
- Hellmann, J. J., Byers, J. E., Bierwagen, B. G., Dukes, J. S. (2008). Five potential consequences of climate change for invasive species. *Conservation biology*, 22(3), 534-543.
- Hepting, G. H. (1971). *Diseases of forest and shade trees of the United States* (No. 386). US Department of Agriculture, Forest Service.
- Herr, C., Chapuis-Lardy, L., Dassonville, N., Vanderhoeven, S., Meerts, P. (2007). Seasonal effect of the exotic invasive plant *Solidago gigantea* on soil pH and P fractions. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 170(6), 729-738.
- Hickman, D. T., Rasmussen, A., Ritz, K., Birkett, M. A., Neve, P. (2021). Allelochemicals as multi-kingdom plant defence compounds: towards an integrated approach. *Pest Management Science*, 77(3), 1121-1131.
- Hierro, J. L., Callaway, R. M. (2003). Allelopathy and exotic plant invasion. *Plant and soil*, 256(1), 29-39.
- Himmelblau, E., Amasino, R. M. (2001). Nutrients mobilized from leaves of *Arabidopsis thaliana* during leaf senescence. *Journal of Plant Physiology*, 158(10), 1317-1323.
- Hinsinger, P. (2001). Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. *Plant and soil*, 237(2), 173-195.
- Hobbs, R. J., Arico, S., Aronson, J., Baron, J. S., Bridgewater, P., Cramer, V. A., Zobel, M. (2006). Novel ecosystems: theoretical and management aspects of the new ecological world order. *Global ecology and biogeography*, 15(1), 1-7.
- Hobbs, R. J., Higgs, E., Harris, J. A. (2009). Novel ecosystems: implications for conservation and restoration. *Trends in ecology & evolution*, 24(11), 599-605.

- Horton G. M. J., Christensen D. A. (1981). Nutritional value of black locust tree leaf meal (*Robinia pseudoacacia*) and alfalfa meal. *Canadian Journal of Animal Science*, 61(2), 503-506.
- Horvat, G., Franjić, J. (2016). Invazivne biljke kalničkih šuma. *Šumarski list*, 140(1-2), 53-64.
- Hovanet M.V., Marinas I.C., Dinu M., Oprea E., Chifiriuc M.C., Stavropoulou E., Lazar V., (2015). The phytotoxicity and antimicrobial activity of *Amorpha fruticosa* L. leaves extract. *Romanian Biotechnological Letters* 20(4), 10670-10678.
- Hruška, K. (1991). Human impact on the forest vegetation in the western part of the Pannonic Plain (Yugoslavia). *Vegetatio*, 92(2), 161-166.
- Hu, S. Y. (1979). *Ailanthus*. *Arnoldia*, 39(2), 29-50.
- Huang, L., Baumgartl, T., Mulligan, D. (2012). Is rhizosphere remediation sufficient for sustainable revegetation of mine tailings?. *Annals of Botany*, 110(2), 223-238.
- Huenneke, L. F., Hamburg, S. P., Koide, R., Mooney, H. A., Vitousek, P. M. (1990). Effects of soil resources on plant invasion and community structure in Californian serpentine grassland. *Ecology*, 71(2), 478-491.
- Hufbauer, R. A., Facon, B., Ravigne, V., Turgeon, J., Foucaud, J., Lee, C. E., Estoup, A. (2012). Anthropogenically induced adaptation to invade (AIAI): contemporary adaptation to human-altered habitats within the native range can promote invasions. *Evolutionary applications*, 5(1), 89-101.
- Hulme, P. E. (2006). Beyond control: wider implications for the management of biological invasions. *Journal of Applied Ecology*, 43(5), 835-847.
- Hulme, P. E., Bacher, S., Kenis, M., Klotz, S., Kühn, I., Minchin, D., Vilà, M. (2008). Grasping at the routes of biological invasions: a framework for integrating pathways into policy. *Journal of Applied Ecology*, 45(2), 403-414.
- Hulme, P. E., Pyšek, P., Jarošík, V., Pergl, J., Schaffner, U., Vila, M. (2013). Bias and error in understanding plant invasion impacts. *Trends in ecology & evolution*, 28(4), 212-218.
- Huntley, J. C. (1990). *Robinia pseudoacacia* L. black locust. *Silvics of North America*, 2, 755-761.
- Hussain, M. I., Reigosa, M. J. (2011). Allelochemical stress inhibits growth, leaf water relations, PSII photochemistry, non-photochemical fluorescence quenching, and heat energy dissipation in three C3 perennial species. *Journal of Experimental Botany*, 62(13), 4533-4545.
- Huxley, A. (1992). *The new RHS dictionary of gardening*, MacMillian Press, New York, p. 3000.
- Inderjit, Callaway, R. M., Holben, W. (2008). Phytotoxic effects of (±)-catechin in vitro, in soil, and in the field. *PLoS One*, 3(7), e2536.
- Inderjit, Dakshini, K. M. M. (1994). Algal allelopathy. *Bot Rev*, 60(2), 182-196.
- Inderjit, Duke, S. (2003). Ecophysiological aspects of allelopathy. *Planta*, 217(4), 529-539.
- Inderjit, Mallik, A. U. (1997). Effect of phenolic compounds on selected soil properties. *Forest Ecology and Management*, 92(1-3), 11-18.
- Inderjit, Moral, D. R. (1997). Is separating allelopathy from resource competition realistic. *Bot Rev*, 63, 221-230.
- Inderjit, Nilsen, E. T. (2003). Bioassays and field studies for allelopathy in terrestrial plants: progress and problems. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 22(3-4), 221-238.
- Inderjit, Weiner, J. (2001). Plant allelochemical interference or soil chemical ecology?. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 4(1), 3-12.
- Inderjit. (1996). Plant phenolics in allelopathy. *The Botanical Review*, 186-202.

- Irimia, R. E., Lopes, S. M., Sotes, G., Cavieres, L. A., Eren, Ö., Lortie, C. J., Montesinos, D. (2019). Biogeographic differences in the allelopathy of leaf surface extracts of an invasive weed. *Biological Invasions*, 21(10), 3151-3168.
- Isajev, V., Ivetić, V., Rakonjac, Lj. Lučić, A. (2010). Značaj proizvodnje sadnog materijala u procesima revitalizacije erozijom ugroženih područja. *Šumarstvo* 3-4, 83-99.
- Isely, D., Peabody, F. J. (1984). *Robinia* (Leguminosae: Papilionoidea). *Castanea*, 187-202.
- Ishimaru, Y., Bashir, K., Nishizawa, N. K. (2011). Zn uptake and translocation in rice plants. *Rice*, 4(1), 21-27.
- Ivanescu, B., Lungu, C., Spac, A., Tuchilus, C. (2014). Essential oils from *Amorpha fruticosa* L. fruits-chemical characterization and antimicrobial activity. *Analele Stiintifice ale Universitatii "Al. I. Cuza" din Iasi*, 60(1), 33.
- Jackson, R. B., Banner, J. L., Jobbágy, E. G., Pockman, W. T., Wall, D. H. (2002). Ecosystem carbon loss with woody plant invasion of grasslands. *Nature*, 418(6898), 623-626.
- Jaffe, B. D. (2015). Functional advantages and ecological implications of arsenic hyperaccumulation. Doctoral dissertation, Northern Arizona University.
- Jain, R. K., Singh, B. (1998). Biomass production and soil amelioration in a high density *Terminalia arjuna* plantation on sodic soils. *Biomass and Bioenergy*, 15(2), 187-192.
- Jakovljević, T., Halambek, J., Radošević, K., Hanousek, K., Gradečki-Poštenjak, M., Gaurina Srček, V., De Marco, A. (2015). The potential use of Indigobush (*Amorpha fruticosa* L.) as natural resource of biologically active compounds. *South-east European forestry: SEEFOR*, 6(2), 171-178.
- Jarić, S. (2009). *Alohtone biljne vrste u prirodnim i antropogeno izmenjenim fitocenozama Srema*. Doktorska disertacija. Poljoprivredni fakultet, Beograd.
- Jelea M., Jelea S.G., (2008). Efectele proceselor microbiene de drenaj minier acid asupra instalării florei spontane în depozitele de sterile sulfidice. Conservarea diversității plantelor in situ și ex situ, Univ. „A.I. Cuza” Iași, 62.
- Johnston, W. R., Proctor, J., (1977). Metal concentrations in plants and soils from two British serpentine sites. *Plant Soil*, 46, 275.
- Jones J. B. Jr (2001). Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. CRC pres,; p 384.
- Jose, S., Gillespie, A. R. (1998). Allelopathy in black walnut (*Juglans nigra* L.) alley cropping. II. Effects of juglone on hydroponically grown corn (*Zea mays* L.) and soybean (*Glycine max* L. Merr.) growth and physiology. *Plant and soil*, 203(2), 199-206.
- Joshi B. C., Pandey A., Chaurasia L., Pal M., Sharma R. P., Khare A. (2003). Antifungal activity of the stem bark of *Ailanthus excelsa*. *Fitoterapia* 74(7):689–691
- Josifović Mladen (ur). 1970-1977. Flora SR Srbije I-X. Srpska akademija nauka i umetnosti / SANU - Odeljenje prirodno-matematičkih nauka. Beograd.
- Jovanović B. (1950) Nesamonikla dendroflora Beograda i okoline. *Glasnik Šumarskog fakulteta*, 1, 75-116.
- Jovanović, B., Jovanović, R., Zupančić, M. eds. (1986). Prirodna potencijalna vegetacija Jugoslavije. Komentar karte M 1:1.000.000 – Rezime. – Naučno veće vegetacijske karte Jugoslavije, Ljubljana.
- Kabata-Pendias, A. (2011). Trace elements in soils and plants. 4th edition, CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Ration, London, New York.
- Kafkafi, U., Bar-Yosef, B., Rosenberg, R., Sposito, G. (1988). Phosphorus adsorption by kaolinite and montmorillonite: II. Organic anion competition. *Soil Science Society of America Journal*, 52(6), 1585-1589.

- Kalinova J., Vrchotova N., Triska J. (2007). Exudation of allelopathic substances in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench). *J Agric Food Chem* 55, 6453–6459.
- Kalisz, S., Kivlin, S. N., Bialic-Murphy, L. (2021). Allelopathy is pervasive in invasive plants. *Biological Invasions*, 23(2), 367-371.
- Kancheva, V. D. (2009). Phenolic antioxidants–radical-scavenging and chain-breaking activity: A comparative study. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 111(11), 1072-1089.
- Karmyzova, L. (2014). Ecological study of invasive *Amorpha fruticosa* at research biological stations within steppe zone, Ukraine. *The Journal of VN Karazin Kharkiv National University. Series: biology*, 20(1100), 300-304.
- Kastori R. (1993). Teški metali i pesticidi u zemljištu Vojvodine. Poljoprivredni fakultet, Institut za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad.
- Kato-Noguchi, H., Seki, T., Shigemori, H. (2010). Allelopathy and allelopathic substance in the moss *Rhynchostegium pallidifolium*. *Journal of plant physiology*, 167(6), 468-471.
- Kato-Noguchi, H., Takami, Y. (2015). Allelopathic activity and allelopathic substance in jackfruit leaves. *Journal of Tropical Forest Science*, 277-281.
- Kazakou, E., Adamidis, G. C., Baker, A. J., Reeves, R. D., Godino, M., Dimitrakopoulos, P. G. (2010). Species adaptation in serpentine soils in Lesbos Island (Greece): metal hyperaccumulation and tolerance. *Plant and Soil*, 332(1), 369-385.
- Keane, R. M., Crawley, M. J. (2002). Exotic plant invasions and the enemy release hypothesis. *Trends in ecology & evolution*, 17(4), 164-170.
- Kefeli, V. I., Kalevitch, M. V., Borsari, B. (2003). Phenolic cycle in plants and environment. *J. Cell Mol. Biol*, 2(1), 13-18.
- Keller, R. P., Lodge, D. M., Finnoff, D. C. (2007). Risk assessment for invasive species produces net bioeconomic benefits. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(1), 203-207.
- Kellner, J. R., Asner, G. P., Kinney, K. M., Loarie, S. R., Knapp, D. E., Kennedy-Bowdoin, T., Thaxton, J. M. (2011). Remote analysis of biological invasion and the impact of enemy release. *Ecological Applications*, 21(6), 2094-2104.
- Kelsey R.G., Locken L.J. (1987) Phytotoxic properties of cnicin, a sesquiterpene lactone from *Centaurea maculosa* (spotted knapweed). *J Chem Ecol* 13, 19–33.
- Keresztesi, B. (1978). Apiculture in forestry environments. In *Proceedings of the Eighth World Forestry Congress, Jakarta, 16-28 Oct. 1978.: World Forestry Congress: Forestry for food*. (No. FFF/9-3).
- Keresztesi, B. (1980). "The black locust." *Unasylyva* 32, 127, 23-33.
- Keresztesi, B. (1983). Breeding and cultivation of black locust, *Robinia pseudoacacia*, in Hungary. *Forest Ecology and Management*, 6(3), 217-244.
- Kim, A. G., Hesbach, P. (2009). Comparison of fly ash leaching methods. *Fuel*, 88(5), 926-937.
- Kimura, F., Sato, M., Kato-Noguchi, H. (2015). Allelopathy of pine litter: delivery of allelopathic substances into forest floor. *Journal of Plant Biology*, 58(1), 61-67.
- Kitayama, K., Mueller-Dombois, D. (1995). Biological invasion on an oceanic island mountain: Do alien plant species have wider ecological ranges than native species?. *Journal of vegetation Science*, 6(5), 667-674.
- Kleinbauer, I., Dullinger, S., Peterseil, J., Essl, F. (2010). Climate change might drive the invasive tree *Robinia pseudacacia* into nature reserves and endangered habitats. *Biological conservation*, 143(2), 382-390.

- Kleiner K., Smith G. (2005) Effects of tree species on soil bacterial communities and positive feedback on *Ailanthus altissima*. ESA 2005 annual meeting.
- Knapp, L. B., Canham, C. D. (2000). Invasion of an old-growth forest in New York by *Ailanthus altissima*: sapling growth and recruitment in canopy gaps. *Journal of the Torrey Botanical Society*, 307-315.
- Kobayashi, K. (2004). Factors affecting phytotoxic activity of allelochemicals in soil. *Weed biology and management*, 4(1), 1-7.
- Kolar, C. S., Lodge, D. M. (2001). Predicting invaders: Response from Kolar and Lodge. *Trends in Ecology & Evolution*, 16(10), 546.
- Kong, C., Hu, F., Xu, X. (2002). Allelopathic potential and chemical constituents of volatiles from *Ageratum conyzoides* under stress. *Journal of Chemical Ecology*, 28(6), 1173-1182.
- Kostić, O. A. (2014). Ekofiziološke karakteristike nekih drvenastih vrsta biljaka i njihov potencijal za revitalizaciju deponije pepela termoelektrana. *Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet*. Doktorska disertacija.
- Košanin, O. (2001). Uloga organske materije u evoluciji morfologije zemljišta u okviru AC stadije na Deliblatskoj peščari. *Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet*. Magistarski rad.
- Kourtev, P. S., Huang, W. Z., Ehrenfeld, J. G. (1999). Differences in earthworm densities and nitrogen dynamics in soils under exotic and native plant species. *Biological Invasions*, 1(2), 237-245.
- Kowarik, I. (1992). *Einführung und Ausbreitung nichteinheimischer Gehölzarten in Berlin und Brandenburg und ihre Folgen für Flora und Vegetation: ein Modell für die Freisetzung gentechnisch veränderter Organismen*. Botanischer Verein von Berlin und Brandenburg.
- Kowarik, I., Säumel, I. (2007). Biological flora of central Europe: *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 8(4), 207-237.
- Kowarik, I., Starfinger, U. (2010). *Biologische Invasionen*. Verlag Eugen Ulmer.
- Kozuharova, E., Matkowski, A., Woźniak, D., Simeonova, R., Naychov, Z., Malainer, C., Atanasov, A. G. (2017). *Amorpha fruticosa*—A Noxious Invasive Alien Plant in Europe or a Medicinal Plant against Metabolic Disease?. *Frontiers in Pharmacology*, 8, 333.
- Kroodsma, R. F. (1937). The permanent fixation of sand dunes in Michigan. *Journal of Forestry*, 35(4), 365-371.
- Krpan, A. P., Tomašić, Ž., Zečić, Ž., Vuletić, D. (2015). Bioproductivity of indigobush (*Amorpha fruticosa* L.) in one-year, two-year and four-year rotation. *Šumarski list*, 139(3-4), 123-134.
- Kruckeberg, A. R. (2002). *Geology and plant life: the effects of land forms and rock types on plants*. University of Washington Press, Seattle, USA.
- Kruse, M., Strandberg, M., Strandberg, B. (2000). Ecological effects of allelopathic plants—a review. *NERI Technical Report*, 315.
- Krylov, S. N., Dunford, H. B. (1996). Detailed Mechanism of Phenol-Inhibited Peroxidase-Catalyzed Oxidation of Indole-3-Acetic Acid at Neutral pH. *Photochemistry and photobiology*, 63(6), 735-741.
- Kuebbing, S. E., Nuñez, M. A. (2016). Invasive non-native plants have a greater effect on neighbouring natives than other non-natives. *Nature plants*, 2(10), 1-7.
- Kuiters, A. T. (1990). Role of phenolic substances from decomposing forest litter in plant-soil interactions. *Acta botanica neerlandica*, 39(4), 329-348.
- Kuiters, A. T., Denneman, C. A. J. (1987). Water-soluble phenolic substances in soils under several coniferous and deciduous tree species. *Soil Biology and Biochemistry*, 19(6), 765-769.

- Kumpiene, J., Lagerkvist, A., Maurice, C. (2008). Stabilization of As, Cr, Cu, Pb and Zn in soil using amendments—a review. *Waste management*, 28(1), 215-225.
- Kutnar, L., Kobler, A. (2013). The current distribution of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) in Slovenia and predictions for the future. *Acta Silvae et Ligni*, 102, 21-30.
- Lachaise, T., Bergmann, J., Rillig, M., van Kleunen, M. (2020). Below-and aboveground traits explain success of German grassland plants from plot to global scales. *Authorea Preprints*.
- Laketić, D. (2011). Taxon: *Robinia pseudoacacia* L. 1753. In: Lista invazivnih vrsta na području AP Vojvodine. Verzija 0.1beta. Anačkov G., Bjelić-Čabrilo O., Karaman I., Karaman M., Radenković S, Radulović S., Vukov D., Boža P. (Editors). Departman za biologiju i ekologiju, Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Novom Sadu. <http://iasv.dbe.pmf.uns.ac.rs/index.php?strana=bazaanditakson=187andjezik=srpski>.
- Lakušić, D., Blaženčić, J., Ranđelović, V., Butorac, B., Vukojičić, S., Zlatković, B., Pavićević, D. (2005). Staništa Srbije—Priručnik sa opisima i osnovnim podacima. *Inst. za botaniku i bot. bašta „Jevremovac“*, Biološki fakultet, Beograd.
- Landenberger, R. E., Kota, N. L., McGraw, J. B. (2007). Seed dispersal of the non-native invasive tree *Ailanthus altissima* into contrasting environments. *Plant Ecology*, 192(1), 55-70.
- Landry, L. G., Chapple, C. C., Last, R. L. (1995). *Arabidopsis* mutants lacking phenolic sunscreens exhibit enhanced ultraviolet-B injury and oxidative damage. *Plant physiology*, 109(4), 1159-1166.
- Lankadurai, B. P., Nagato, E. G., Simpson, M. J. (2013). Environmental metabolomics: an emerging approach to study organism responses to environmental stressors. *Environmental Reviews*, 21(3), 180-205.
- Lankau, R. (2010). Soil microbial communities alter allelopathic competition between *Alliaria petiolata* and a native species. *Biological Invasions*, 12(7), 2059-2068.
- Lapadatescu, C., Giniès, C., Quér, J.L.L. and Bonnarme, P. (2000). Novel Scheme for Biosynthesis of Aryl Metabolites from L-Phenylalanine in the Fungus *Bjerkandera adusta*. *Applied and Environmental Microbiology*, 66, 1517-1522.
- Larson, B. M. (2007). An alien approach to invasive species: objectivity and society in invasion biology. *Biological invasions*, 9(8), 947-956.
- Laskowski, R., Berg, B. (1993). Dynamics of some mineral nutrients and heavy metals in decomposing forest litter. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 8(1-4), 446-456.
- Lattanzio, V. (2013). Phenolic Compounds: Introduction 50. *Nat. Prod*, 1543-1580.
- Lawrence, J. G., Colwell, A., Sexton, O. J. (1991). The ecological impact of allelopathy in *Ailanthus altissima* (Simaroubaceae). *American journal of Botany*, 78(7), 948-958.
- Lazarević, P., Stojanović, V., Jelić, I., Perić, R., Krsteski, B., Ajtić, R., Bjedov, V. (2012). Preliminarni spisak invazivnih vrsta u Republici Srbiji sa opštim merama kontrole i suzbijanja kao potpora budućim zakonskim aktima. *Zaštita prirode*, 62(1), 5-31.
- Lazzaro, L., Mazza, G., d'Errico, G., Fabiani, A., Giuliani, C., Inghilesi, A. F., Foggi, B. (2018). How ecosystems change following invasion by *Robinia pseudoacacia*: Insights from soil chemical properties and soil microbial, nematode, microarthropod and plant communities. *Science of the Total Environment*, 622, 1509-1518.
- Ledger, K. J., Pal, R. W., Murphy, P., Nagy, D. U., Filep, R., Callaway, R. M. (2015). Impact of an invader on species diversity is stronger in the non-native range than in the native range. *Plant Ecology*, 216(9), 1285-1295.
- Lee K.T., Han B.H., Cho W., (1997). The appropriate mounding height and selection of ornamental trees on consideration of the environmental characteristics in an apartment complex. In the case

- of Sanggyoi-Dong sanitary landfill. *Korean Journal of Environment and Ecology*, 11(2):137-148;
- Lee, H. J., Kang, H. Y., Kim, C. H., Kim, H. S., Kwon, M. C., Kim, S. M., Lee, H. Y. (2006). Effect of new rotenoid glycoside from the fruits of *Amorpha fruticosa* LINNE on the growth of human immune cells. *Cytotechnology*, 52(3), 219-226.
- Lee, J. A., Greenwood, B. (1976). The colonisation by plants of calcareous wastes from the salt and alkali industry in Cheshire, England. *Biological Conservation*, 10(2), 131-149.
- Lehan, N. E., Murphy, J. R., Thorburn, L. P., Bradley, B. A. (2013). Accidental introductions are an important source of invasive plants in the continental United States. *American journal of botany*, 100(7), 1287-1293.
- Lennox C.L., Morris M.J., Wood A.R., (1999). Stumpout™ - commercial production of a fungal inoculant to prevent regrowth of cut wattle stumps in South Africa. In: X International Symposium on Biological Control of Weeds [ed. by Spencer, N. R.]. Bozeman, Montana, USA: Montana State University, 169-172.
- Lepart J., Debussche M. (1991). Invasion processes as related to succession and disturbance. In: Biogeography of mediterranean invasions. [ed. by Groves R H, Castri F di]. Cambridge, UK: Cambridge University Press. 159-177.
- Lešnik, M. (2017). Management of Invasive Plants (neophytes) and Biodiversity Preservation in Water Protection Areas. University Press of the University of Maribor.
- Levine, J. M., Adler, P. B., Yelenik, S. G. (2004). A meta-analysis of biotic resistance to exotic plant invasions. *Ecology letters*, 7(10), 975-989.
- Li L., Li S.M., Sun J.H., Zhou L.L., Bao X.G., Zhang H.G., Zhang F.S. (2007). Diversity enhances agricultural productivity via rhizosphere phosphorus facilitation on phosphorus-deficient soils. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 104(27), 11192-6.
- Li Q., Yuan L., Huang J. (2014). Allelopathic effects of artemisinin on ectomycorrhizal fungal isolates in vitro. *Pedobiologia*, 57, 271–276.
- Li, G., Xu, G., Guo, K., Du, S. (2014). Mapping the global potential geographical distribution of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) using herbarium data and a maximum entropy model. *Forests*, 5(11), 2773-2792.
- Liang Y., Li X., Gu Z., Qin P., Ji M., 2015. Toxicity of Amorphigenin from the Seeds of *Amorpha fruticosa* against the Larvae of *Culex pipiens pallens* (Diptera: Culicidae). *Molecules*, 20, 3238-3254.
- Liao, C., Peng, R., Luo, Y., Zhou, X., Wu, X., Fang, C., Li, B. (2008). Altered ecosystem carbon and nitrogen cycles by plant invasion: a meta-analysis. *New phytologist*, 177(3), 706-714.
- Liu Q., Xu R., Yan Z., Jin H., Cui H., Lu L., Zhang D., Qin B. (2013). Phytotoxic allelochemicals from roots and root exudates of *Trifolium pratense*. *J Agric Food Chem* 61, 6321–6327.
- Liu TR, Liao R. (1988). Dendrology. Taipei, Taiwan, Taiwan Commercial Press, 548-549.
- Liu, G., Deng, T. (1991). Mathematical model of the relationship between nitrogen-fixation by black locust and soil conditions. *Soil Biology and Biochemistry*, 23(1), 1-7.
- Liu, X., Liang, P., Gao, X., Shi, X. (2006). Induction of the cytochrome P450 activity by plant allelochemicals in the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 84(2), 127-134.
- Lodge, D. M. (1993). Biological invasions: lessons for ecology. *Trends in ecology & evolution*, 8(4), 133-137.
- Loehle, C. (1988). Tree life history strategies: the role of defenses. *Canadian Journal of Forest Research*, 18(2), 209-222.



- Loffredo, E., Monaci, L., Senesi, N. (2005). Humic substances can modulate the allelopathic potential of caffeic, ferulic, and salicylic acids for seedlings of lettuce (*Lactuca sativa* L.) and tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(24), 9424-9430.
- Lomander, A., Johansson, M. B. (2001). Changes in concentrations of Cd, Zn, Mn, Cu and Pb in spruce (*Picea abies*) needle litter during decomposition. *Water, Air, and Soil Pollution*, 132(1), 165-184.
- Lonsdale, W. M. (1999). Global patterns of plant invasions and the concept of invasibility. *Ecology*, 80(5), 1522-1536.
- Loosemore N., Straczek A., Hinsinger P., Jaillard B. (2004). Zinc mobilization from a contaminated soil by three genotypes of tobacco as affected by soil and rhizosphere pH. *Plant Soil*, 260, 19-32.
- Luken, J. O., Thieret, J. W. (Eds.). (1997). *Assessment and management of plant invasions*. Springer Science & Business Media.
- Macheix, J. J. (1990). Importance and role of phenolic compounds in fruit. *Fruit phenolics.*, 239-293.
- Mačukanović-Jocić, M., Jarić, S. (2016). The melliferous potential of apiflora of southwestern Vojvodina (Serbia). *Archives of Biological Sciences*, 1(68), 81-91.
- Magyar, P. (1960). Alföldfásítás I-II. [Afforestation in Great Hungarian Plain I-II.] Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Maillard, A., Diquélou, S., Billard, V., Laîné, P., Garnica, M., Prudent, M., Ourry, A. (2015). Leaf mineral nutrient remobilization during leaf senescence and modulation by nutrient deficiency. *Frontiers in plant science*, 6, 317.
- Makarova L. E., Dudareva L. V., Petrova I. G., Vasileva G. G. (2016). Secretion of phenolic compounds into root exudates of pea seedlings upon inoculation with *Rhizobium leguminosarum* bv. *viceae* or *Pseudomonas siringae* pv. *pisi*. *Appl Biochem Microbiol*, 52, 205-209.
- Marković, A., Borysiak, J. (1995). *Floodplain Vegetation of the Velika Morava River in Serbia*. Faculty of Science, University of Kragujevac.
- Marković-Marjanović, J. (1949). Proučavanje kvartarnih naslaga južnog Banata i požarevačkog Podunavlja. *Glas srpske Akademije nauka. Knjiga I. Sveska 3*. Beograd.
- Marković-Marjanović, J. (1950). Prethodno saopštenje o Deliblatskoj peščari. Zbornik radova, knjiga 3. Srpska Akademija nauka, Geološki institut. Beograd.
- Maron, J. L., Jefferies, R. L. (1999). Bush lupine mortality, altered resource availability, and alternative vegetation states. *Ecology*, 80(2), 443-454.
- Marschner, H. (1995). Mineral nutrition of high plant. Academic Press, Pp. 330-355.
- Maruyama, T., Higuchi, K., Yoshida, M., Tadano, T. (2005). Comparison of iron availability in leaves of barley and rice. *Soil Science & Plant Nutrition*, 51(7), 1035-1042.
- Maslo, S. (2016). Preliminary list of invasive alien plant species (IAS) in Bosnia and Herzegovina. *Herbologia*, 16(1), 1-14.
- Matveev, N. II L. (1975). Role des secretions vegetales dans la formation de la vegetation herbacee dans les plantations de *Robinia* et cotinus de la zone steppique. Nauch. Dokl. Vyssh. Shk. Biol.-Nauki, 18(10), 80-84.
- Maurel, N., Salmon, S., Ponge, J. F., Machon, N., Moret, J., Muratet, A. (2010). Does the invasive species *Reynoutria japonica* have an impact on soil and flora in urban wastelands?. *Biological invasions*, 12(6), 1709-1719.

- Mazid, M., Khan, T. A., Mohammad, F. (2011). Effect of abiotic stress on synthesis of secondary plant products: a critical review. *Agricultural Reviews*, 32(3).
- McEwan, R. W., Arthur-Paratley, L. G., Rieske, L. K., Arthur, M. A. (2010). A multi-assay comparison of seed germination inhibition by *Lonicera maackii* and co-occurring native shrubs. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 205(7), 475-483.
- McLean, J. E. (1992). *Behavior of metals in soils*. Technology Innovation Office, Office of Solid Waste and Emergency Response, p. 25.
- Meloche, C., Murphy, S. D. (2006). Managing tree-of-heaven (*Ailanthus altissima*) in parks and protected areas: a case study of Rondeau Provincial Park (Ontario, Canada). *Environmental management*, 37(6), 764-772.
- Menković, Lj. (2013). Eolian relief of Southeast Banatian. *Bulletin Of The Serbian Geographical Society*. 93(4).
- Mergen, F. (1959). A toxic principle in the leaves of *Ailanthus*. *Botanical Gazette*, 121(1), 32-36.
- Merilä, P., Malmivaara-Lämsä, M., Spetz, P., Stark, S., Vierikko, K., Derome, J., Fritze, H. (2010). Soil organic matter quality as a link between microbial community structure and vegetation composition along a successional gradient in a boreal forest. *Applied Soil Ecology*, 46(2), 259-267.
- Michalak, A. (2006). Phenolic compounds and their antioxidant activity in plants growing under heavy metal stress. *Polish Journal of Environmental Studies*, 15(4).
- Michener, D. C. (1988). The introduction of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) to Massachusetts. *Arnoldia*, 48(4), 52-57.
- Mierziak, J., Kostyn, K., Kulma, A. (2014). Flavonoids as important molecules of plant interactions with the environment. *Molecules*, 19(10), 16240-16265.
- Milenković, M., Babić, V., Krstić, M., Stojanović, J. (2017). Pines in the Deliblato sands: ecological lesson. 10th International Scientific Conference “Science and Higher Education in Function of Sustainable Development” 06 – 07 October 2017, Mećavnik – Drvengrad, Užice, Serbia.
- Milenković, M., Munćan, S., Babić, V. (2018). Dva veka pošumljavanja Deliblatske pešcare: problem šumskih požara. *Šumarstvo*, 3-4:1-24.
- Miller, J. H. (1990). *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle. *Silvics of North America*, 2, 101-104.
- Milojević, B.Ž. (1949). Prilozi geografiji Banatske pešcare. Beograd: Geografski institut SANU, 153.
- Mitrović, M., Jarić, S., Đurđević, L., Karadžić, B., Gajić, G., Kostić, O., Pavlović, P. (2012). Allelopathic and Environmental implications of plant phenolic compounds. *Allelopathy Journal*, 29(2).
- Mitrović, M., Pavlović, P., Lakušić, D., Đurđević, L., Stevanović, B., Kostić, O., Gajić, G. (2008). The potential of *Festuca rubra* and *Calamagrostis epigejos* for the revegetation of fly ash deposits. *Science of the total environment*, 407(1), 338-347.
- Molisch, H. (1937). Der Einfluss einer Pflanze auf die Andere, Allelopathie. *Nature*, 141, 493.
- Montagnini, F., Sancho-Mora, F., Ramstad, K., Stijfhoorn, E., Taylor, D. A., MacDicken, K. G. (1990). Research on multipurpose trees in Asia. In *Proceedings of an international workshop, Los Baños. H, November* (Vol. 19, No. 23).
- Montilla, I., Parra, M. A., Torrent, J. (2003). Zinc phytotoxicity to oilseed rape grown on zinc-loaded substrates consisting of Fe oxide-coated and calcite sand. *Plant and soil*, 257(1), 227-236.
- Mooney, H. A., Cleland, E. E. (2001). The evolutionary impact of invasive species. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(10), 5446-5451.

- Moravcova, L., Pyšek, P., Jarošík, V., Havlíčková, V., Zákavský, P. (2010). Reproductive characteristics of neophytes in the Czech Republic: traits of invasive and non-invasive species. *Preslia*, 82(4), 365-390.
- Moreno-De Las Heras, M. (2009). Development of soil physical structure and biological functionality in mining spoils affected by soil erosion in a Mediterranean-Continental environment. *Geoderma*, 149(3-4), 249-256.
- Morris, C., Grossl, P. R., Call, C. A. (2009). Elemental allelopathy: processes, progress, and pitfalls. *Plant Ecology*, 202(1), 1-11.
- Motard, E., Dusz, S., Geslin, B., Akpa-Vinceslas, M., Hignard, C., Babiari, O., Michel-Salzat, A. (2015). How invasion by *Ailanthus altissima* transforms soil and litter communities in a temperate forest ecosystem. *Biological Invasions*, 17(6), 1817-1832.
- Motta, R., Nola, P., Berretti, R. (2009). The rise and fall of the black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) in the “Siro Negri” Forest Reserve (Lombardy, Italy): lessons learned and future uncertainties. *Annals of Forest Science*, 66(4), 1-10.
- Mousavi, S.R., Shahsavari, M. Rezaei, M. (2011). A general overview on manganese (Mn) Importance for crops production. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 5(9), 1799-1803.
- Mukherjee, A. B. (1998). Chromium in the environment of Finland. *Science of the total environment*, 217(1-2), 9-19.
- Muller, C. H. (1966). The role of chemical inhibition (allelopathy) in vegetational composition. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 332-351.
- Muller, C.H. (1969). Allelopathy as a factor in ecological process. *Vegetatio*, 18, 348– 357.
- Müller, N., Sukopp, H. (2016). Influence of different landscape design styles on plant invasions in Central Europe. *Landscape and Ecological Engineering*, 12(1), 151-169.
- Münzenberger, B., Hammer, E., Wray, V., Schauer, F., Schmidt, J., Strack, D. (2003). Detoxification of ferulic acid by ectomycorrhizal fungi. *Mycorrhiza*, 13(2), 117-121.
- Muscolo, A., Sidari, M. (2006). Seasonal fluctuations in soil phenolics of a coniferous forest: effects on seed germination of different coniferous species. *Plant and soil*, 284(1), 305-318.
- Nascimbene, J., Marini, L. (2010). Oak forest exploitation and black-locust invasion caused severe shifts in epiphytic lichen communities in Northern Italy. *Science of the total environment*, 408(22), 5506-5512.
- Nasir, H., Iqbal, Z., Hiradate, S., Fujii, Y. (2005). Allelopathic potential of *Robinia pseudoacacia* L. *Journal of Chemical Ecology*, 31(9), 2179-2192.
- Nejgebauer, V. (1958). Komentar pedološke karte AP Vojvodine (razmere 1:10000) Geokarta. Beograd.
- Neufeld, H. S., Jernstedt, J. A., Haines, B. L. (1985). Direct foliar effects of simulated acid rain: I. Damage, growth and gas exchange. *New Phytologist*, 99(3), 389-405.
- Nikolić, T., Mitić, B., Boršić, I. (2014). Flora of Croatia–Invasive plants. *Alfa dd, Zagreb (in Croatian)*.
- Northup, R. R., Yu, Z., Dahlgren, R. A., Vogt, K. A. (1995). Polyphenol control of nitrogen release from pine litter. *Nature*, 377(6546), 227-229.
- Norton, S. A., Perry, R. H., Saros, J. E., Jacobson, G. L., Fernandez, I. J., Kopáček, J., SanClements, M. D. (2011). The controls on phosphorus availability in a Boreal lake ecosystem since deglaciation. *Journal of Paleolimnology*, 46(1), 107-122.
- Olson, Jr D. F. (1974). *Robinia* L., locust. In *Seeds of woody plants in the United States*. p. 728-731. C. S. Schopmeyer, tech. coord. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook 450. Washington, DC. p. 883.

- Osono, T., Takeda, H. (2005). Decomposition of organic chemical components in relation to nitrogen dynamics in leaf litter of 14 tree species in a cool temperate forest. *Ecological research*, 20(1), 41-49.
- Pan, E., Bassuk, N. (1986). Establishment and distribution of *Ailanthus altissima* in the urban environment. *Journal of Environmental Horticulture*, 4(1), 1-4.
- Pančić, J. (1863). Živi pesak i bilje, što na njemu raste. *Glasnik Društva Srbske Slovesnosti, Beograd*, 16, 197-233.
- Pascual-Villalobos, M. J., Robledo, A. (1998). Screening for anti-insect activity in Mediterranean plants. *Industrial crops and products*, 8(3), 183-194.
- Pasiecznik, N. M. (2004). Pathways for plant introduction. Invasive plant overview, invited paper. *CABI, Crop Protection Compendium. CAB International, Wallingford, UK*.
- Pavićević, M. (2013). Alelopatsko djelovanje ekstrakta listova običnog oraha i nekih invazivnih biljnih vrsta na klijanje pšenice (*Triticum aestivum* L.) i gorušice (*Sinapis alba* L.). *Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet*. Doktorska disertacija.
- Pavlović, P., Kostić, N., Karadžić B., Mitrović, M. (2017). The Soils of Serbia. World Soils Book Series. Springer Science & Business Media Dordrecht, p. 241.
- Peabody, F. J. (1982). "A 350-year-old American legume in Paris [Record of *Robinia pseudoacacia* dates from 1634; France], *Castanea*, 99-104.
- Pedashenko, H. P., Apostolova, I. I., Vassilev, K. V. (2012). *Amorpha fruticosa* invasibility of different habitats in lower Danube. *Phytologia balcanica*, 18(3), 285-291.
- Pedrol, N., González, L., Reigosa, M. J. (2006). Allelopathy and abiotic stress. In *Allelopathy* (pp. 171-209). Springer, Dordrecht.
- Peloquin RL, Hiebert RD (1999). The effects of black-locust (*Robinia pseudoacacia*) on species diversity and composition of black oak savanna/woodland communities. *Nat Areas J*, 19, 121–131.
- Penn, C. J., Camberato, J. J. (2019). A critical review on soil chemical processes that control how soil pH affects phosphorus availability to plants. *Agriculture*, 9(6), 120.
- Pereira, D. M., Valentão, P., Pereira, J. A., Andrade, P. B. (2009). Phenolics: From chemistry to biology. *Molecules*, 14(6), 2202-2211.
- Pérez, F.J., Ormeño-Nuñez, J. (1991). Root exudates of wild oats: Allelopathic effect on spring wheat. *Phytochemistry*, 30, 2199–2202.
- Peters N.K., Long S.R. (1988). Alfalfa root exudates and compounds which promote or inhibit induction of *Rhizobium meliloti* nodulation genes. *Plant Physiol*, 88, 396–400.
- Petračić, A. (1938). *Amorpha fruticosa* L. kao nov i opasan korov u posavskim šumama. *Šumarski list*, 62(9), 623-626.
- Pilon-Smits, E. A., Quinn, C. F. (2010). Selenium metabolism in plants. In *Cell biology of metals and nutrients* (pp. 225-241). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Pimentel, D. (2005). Environmental consequences and economic costs of alien species. In *Invasive plants: Ecological and agricultural aspects* (pp. 269-276). Birkhäuser Basel.
- Pimentel, D., Pimentel, M., Wilson, A. (2008). Plant, animal, and microbe invasive species in the United States and world. In *Biological invasions* (pp. 315-330). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Pisula, N. L., Meiners, S. J. (2010). Allelopathic effects of goldenrod species on turnover in successional communities. *The American Midland Naturalist*, 163(1), 161-172.
- Planty-Tabacchi, A. M., Tabacchi, E., Naiman, R. J., Deferrari, C., Decamps, H. (1996). Invasibility of species-rich communities in riparian zones. *Conservation Biology*, 10(2), 598-607.

- Plass, W. T. (1975). *An evaluation of trees and shrubs for planting surface-mine spoils* (Vol. 317). Forest Service, US Department of Agriculture, Northeastern Forest Experiment Station.
- Poldini, L., Vidali, M., Ganis, P. (2011). Riparian *Salix alba*: Scrubs of the Po lowland (N-Italy) from an European perspective. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 145(1), 132-147.
- Pollock, J. L., Callaway, R. M., Thelen, G. C., Holben, W. E. (2009). Catechin–metal interactions as a mechanism for conditional allelopathy by the invasive plant *Centaurea maculosa*. *Journal of Ecology*, 97(6), 1234-1242.
- Prach, K., Pyšek, P. (1994). Clonal plants—what is their role in succession?. *Folia Geobotanica*, 29(2), 307-320.
- Prati, D., Bossdorf, O. (2004). Allelopathic inhibition of germination by *Alliaria petiolata* (Brassicaceae). *American journal of Botany*, 91(2), 285-288.
- Pritekel C., Whittemore-Olson A., Snow N., Moore J.C. (2006). Impacts from invasive plant species and their control on the plant community and belowground ecosystem at Rocky Mountain National Park, USA. *Appl Soil Ecol*, 32, 132–141.
- Putnam, A. R., Duke, W. B. (1978). Allelopathy in agroecosystems. *Annual review of phytopathology*, 16(1), 431-451.
- Pyšek, P., Jarošík, V., Hulme, P. E., Kühn, I., Wild, J., Arianoutsou, M., Winter, M. (2010). Disentangling the role of environmental and human pressures on biological invasions across Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(27), 12157-12162.
- Pyšek, P., Jarošík, V., Hulme, P. E., Pergl, J., Hejda, M., Schaffner, U., Vilà, M. (2012). A global assessment of invasive plant impacts on resident species, communities and ecosystems: the interaction of impact measures, invading species' traits and environment. *Global Change Biology*, 18(5), 1725-1737.
- Pyšek, P., Jarošík, V., Pergl, J., Randall, R., Chytrý, M., Kühn, I., Sádlo, J. (2009). The global invasion success of Central European plants is related to distribution characteristics in their native range and species traits. *Diversity and Distributions*, 15(5), 891-903.
- Pyšek, P., Lambdon, P. W., Arianoutsou, M., Kühn, I., Pino, J., Winter, M. (2009). Alien vascular plants of Europe. In *Handbook of alien species in Europe* (pp. 43-61). Springer, Dordrecht.
- Pyšek, P., Prach, K. (1993). Plant invasions and the role of riparian habitats: a comparison of four species alien to central Europe. In *Ecosystem Management* (pp. 254-263). Springer, New York, NY.
- Qin B, Perry LG, Browckling CD, Du J, Stermitz F, Paschke MW, Vivanco JM (2006) Phytotoxic allelochemicals from roots and root exudates of leafy spurge (*Euphorbia esula* L.). *Plant Signal Behav*, 1, 323–327.
- Qu, X., Diao, Y., Zhang, Z., Wang, S., Jia, Y. (2013). Evaluation of anti-bacterial and wound healing activity of the fruits of *Amorpha fruticosa* L. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines*, 10(3), 458-468.
- Quideau, S., Deffieux, D., Douat-Casassus, C., Pouysegou, L. (2011). Plant polyphenols: chemical properties, biological activities, and synthesis. *Angewandte Chemie International Edition*, 50(3), 586-621.
- Radovanović N., Kuzmanović N., Vukojičić S., Lakušić D., Jovanović S. (2017) Floristic diversity, composition and invasibility of riparian habitats with *Amorpha fruticosa*: A case study from Belgrade (Southeast Europe). *Urban Forestry and Urban Greening*, 24, 101-108.
- Radulović, S., Skočajić, D., Bjedov, I., Đunisijević-Bojović, D. (2008). *Amorpha fruticosa* L. on wet sites in Belgrade. *Glasnik Šumarskog fakulteta*, 97, 221-233.

- Rahmonov, O. (2009). The chemical composition of plant litter of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) and its ecological role in sandy ecosystems. *Acta Ecologica Sinica*, 29(4), 237-243.
- Ralston, L., Subramanian, S., Matsuno, M., Yu, O. (2005). Partial reconstruction of flavonoid and isoflavonoid biosynthesis in yeast using soybean type I and type II chalcone isomerases. *Plant physiology*, 137(4), 1375-1388.
- Ram, L. C., Jha, S. K., Tripathi, R. C., Masto, R. E., Selvi, V. A. (2008). Remediation of fly ash landfills through plantation. *Remediation Journal: The Journal of Environmental Cleanup Costs, Technologies & Techniques*, 18(4), 71-90.
- Raupp, F.M., Spring, O. (2013) New sesquiterpene lactones from sunflower root exudate as germination stimulants for *Orobancha cumana*. *J Agric Food Chem* 61,10481–10487.
- Rédei, K., Csiha, I., Keserű, Z., Rásó, J., Kamandiné Végh, Á., Antal, B. (2014). Growth and yield of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) stands in Nyírség growing region (North-East Hungary). *South-east European forestry: SEEFOR*, 5(1), 13-22.
- Reeder, J. D. (1985). Fate of Nitrogen-15-Labeled Fertilizer Nitrogen in Revegetated Cretaceous Coal Spoils (Vol. 14, No. 1, pp. 126-131). American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America.
- Reigosa, M. J., Sánchez-Moreiras, A., González, L. (1999). Ecophysiological approach in allelopathy. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 18, 577-608.
- Reimann, C., de Caritat, P. (1998). Chemical Elements in the Environment. SpringerVerlag, Berlin, p. 398.
- Reinhart K. O., Greene E., Callaway R. M. (2005). Effects of *Acer platanoides* invasion on understory plant communities and tree regeneration in the northern Rocky Mountains. *Ecography* 28(5), 573–582.
- Rejmánek, M. (1996). A theory of seed plant invasiveness: the first sketch. *Biological conservation*, 78(1-2), 171-181.
- Rejmánek, M., Robinson, G. R., Rejmánková, E. (1989). Weed-crop competition: experimental designs and models for data analysis. *Weed Science*, 276-284.
- Rice, E. L. (1979). Allelopathy—an update. *The Botanical Review*, 45(1), 15-109.
- Rice, E.L. (1984) Allelopathy. 2nd Edition, Academic Press, New York, 422.
- Rice, S. K., Westerman, B., Federici, R. (2004). Impacts of the exotic, nitrogen-fixing black locust (*Robinia pseudoacacia*) on nitrogen-cycling in a pine–oak ecosystem. *Plant Ecology*, 174(1), 97-107.
- Richardson, D. M., Petit, R. J. (2006). Pines as invasive aliens: outlook on transgenic pine plantations in the Southern Hemisphere. In *Landscapes, genomics and transgenic conifers* (pp. 169-188). Springer, Dordrecht.
- Richardson, D. M., Pyšek, P. (2007). Elton, CS 1958: The ecology of invasions by animals and plants. London: Methuen. *Progress in Physical Geography*, 31(6), 659-666.
- Richardson, D. M., Pyšek, P., Rejmánek, M., Barbour, M. G., Panetta, F. D., West, C. J. (2000). Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. *Diversity and distributions*, 6(2), 93-107.
- Richardson, D. M., Rejmánek, M. (2011). Trees and shrubs as invasive alien species—a global review. *Diversity and distributions*, 17(5), 788-809.
- Ridenour, W. M., Callaway, R. M. (2001). The relative importance of allelopathy in interference: the effects of an invasive weed on a native bunchgrass. *Oecologia*, 126(3), 444-450.
- Roach, B. A. (1965). Black locust (*Robinia pseudoacacia* L.). *Silvics For trees United States*, 642-648.

- Roberts, S. C. (2007). Production and engineering of terpenoids in plant cell culture. *Nature chemical biology*, 3(7), 387.
- Roskov Y., Ower G., Orrell T., Nicolson D., Bailly N., Kirk P. M., Bourgoin T., DeWalt R. E., Decock W., De Wever A., van Nieukerken E., Zarucchi J., Penev L. (2018). In: Species 2000 and ITIS Catalogue of Life, 24th September 2018, Leiden, The Netherlands: Species 2000, Naturalis.
- Rousk, J., Brookes, P. C., Baath, E. (2009). Contrasting soil pH effects on fungal and bacterial growth suggest functional redundancy in carbon mineralization. *Applied and Environmental Microbiology*, 75(6), 1589-1596.
- Sabo, A. E. (2000). *Robinia pseudoacacia* invasions and control in North America and Europe. *Restoration and Reclamation Review*, 6(3), 1-9.
- Sandfær, J. (1970). Barley stripe mosaic virus as the cause of sterility interaction between Barley varieties. *Hereditas*, 64(1), 150-152.
- Sangthong, S., Krusong, K., Ngamrojanavanich, N., Vilaivan, T., Puthong, S., Chandchawan, S., Muangsin, N., (2011). Synthesis of rotenoid derivatives with cytotoxic and topoisomerase II inhibitory activities Bioorg. *Med. Chem. Lett.* 21, 16, 4813-4818.
- Sanon, A., Beguiristain, T., Cebon, A., Berthelin, J., Ndoye, I., Leyval, C., Duponnois, R. (2009). Changes in soil diversity and global activities following invasions of the exotic invasive plant, *Amaranthus viridis* L., decrease the growth of native sahelian *Acacia* species. *FEMS Microbiology Ecology*, 70(1), 118-131.
- Sargent, C. S. (1892). *The Silva of North America 3*. Riverside Press, Cambridge, MA.
- Sarić, M.R. (1983). *Fiziologija biljaka*. Nučna Knjiga, Beograd, 570 pp.
- Scavo, A., Abbate, C., Mauromicale, G. (2019). Plant allelochemicals: Agronomic, nutritional and ecological relevance in the soil system. *Plant and Soil*, 442(1), 23-48.
- Scavo, A., Restuccia, A., Mauromicale, G. (2018). Allelopathy: principles and basic aspects for agroecosystem control. In *Sustainable Agriculture Reviews 28* (pp. 47-101). Springer, Cham.
- Schaffner, U., Steinbach, S., Sun, Y., Skjøth, C. A., de Weger, L. A., Lommen, S. T., Müller-Schärer, H. (2020). Biological weed control to relieve millions from *Ambrosia* allergies in Europe. *Nature communications*, 11(1), 1-7.
- Scheid, S., Günthardt-Goerg, M. S., Schulin, R., Nowack, B. (2009). Accumulation and solubility of metals during leaf litter decomposition in non-polluted and polluted soil. *European Journal of Soil Science*, 60(4), 613-621.
- Schmitz-Hoerner, R., Weissenböck, G. (2003). Contribution of phenolic compounds to the UV-B screening capacity of developing barley primary leaves in relation to DNA damage and repair under elevated UV-B levels. *Phytochemistry*, 64(1), 243-255.
- Schulz, M., Wieland, I. (1999). Variation in metabolism of BOA among species in various field communities—biochemical evidence for co-evolutionary processes in plant communities?. *Chemoecology*, 9(3), 133-141.
- Scott, G., Gilead, D. (1995). Degradable polymers in waste and litter control. In *Degradable Polymers* (pp. 247-258). Springer, Dordrecht.
- Scott, J. K. (2001). Europe gears-up to fight invasive species. *Trends in Ecology & Evolution*, 16(4), 171-172.
- Seebens, H., Blackburn, T. M., Dyer, E. E., Genovesi, P., Hulme, P. E., Jeschke, J. M., Essl, F. (2017). No saturation in the accumulation of alien species worldwide. *Nature communications*, 8(1), 1-9.

- Seo, K. W., Son, Y., Rhoades, C. C., Noh, N. J., Koo, J. W., Kim, J. G. (2008). Seedling growth and heavy metal accumulation of candidate woody species for revegetating Korean mine spoils. *Restoration Ecology*, 16(4), 702-712.
- Sever, H., Makineci, E. (2009). Soil organic carbon and nitrogen accumulation on coal mine spoils reclaimed with maritime pine (*Pinus pinaster* Aiton) in Agacli–Istanbul. *Environmental monitoring and assessment*, 155(1), 273-280.
- Shah, B. (1997). The checkered career of *Ailanthus altissima*. *Arnoldia*, 57(3), 21-27.
- Shanker, A. K., Djanaguiraman, M., Venkateswarlu, B. (2009). Chromium interactions in plants: current status and future strategies. *Metallomics*, 1(5), 375-383.
- Shaw, P. J. A. (1992). A preliminary study of successional changes in vegetation and soil development on unamended fly ash (PFA) in southern England. *Journal of applied ecology*, 728-736.
- Sheley, R. L., Jacobs, J. S. (1997). Response of spotted knapweed and grass to picloram and fertilizer combinations. *Rangeland Ecology & Management/Journal of Range Management Archives*, 50(3), 263-267.
- Sheppard, A. W., Shaw, R. H., Sforza, R. (2006). Top 20 environmental weeds for classical biological control in Europe: a review of opportunities, regulations and other barriers to adoption. *Weed research*, 46(2), 93-117.
- Simberloff, D. (2006). Invasional meltdown 6 years later: important phenomenon, unfortunate metaphor, or both?. *Ecology Letters*, 9(8), 912-919.
- Simberloff, D. (2013). *Invasive species: what everyone needs to know*. Oxford University Press, p. 352.
- Simonović, B. (2003). Report on waste, surface and ground waters monitoring in the “Nikola Tesla–A” thermal power station at Obrenovac. Holding Institute of General and Physical Chemistry, Belgrade, 36 pp.
- Singh, A., Malaviya, P. (2013). Phytotoxic effect of chrome liquor on growth and chlorophyll content of *Spirodela polyrrhiza* L. Schleid. *Journal of Applied and Natural Science*, 5(1), 165-170.
- Sîrbu, C., Oprea, A. (2011). Contribution to the study of plant communities dominated by *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle, in the Eastern Romania (Moldavia). *Cercetari agronomice in Moldova*, 44(3), 51-74.
- Sitzia, T. (2014). A call to silviculturists for a new field of science: the forestry of invasive alien species. *The Forestry Chronicle*, 90(4), 486-488.
- Sitzia, T., Campagnaro, T., Dainese, M., Cierjacks, A. (2012). Plant species diversity in alien black locust stands: A paired comparison with native stands across a north-Mediterranean range expansion. *Forest Ecology and Management*, 285, 85-91.
- Slavnić Ž. (1952). Nizinske šume Vojvodine. *Zbornik Matice srpske, serija za prirodne nauke*, 2, 1-22.
- Ślusarczyk, T. (2012). Lasy robiniove ostoją rzadkich i zagrożonych grzybów wielkoowocnikowych (*Robinia* forests as a refuge for rare and threatened macrofungi). *Przegląd Przyrodniczy*, 23(2), 11-41.
- Small, C. J., White, D. C., Hargbol, B. (2010). Allelopathic influences of the invasive *Ailanthus altissima* on a native and a non-native herb1, 2. *The Journal of the Torrey Botanical Society*, 137(4), 366-372.
- Smirnoff, N. (1993). Tansley Review No. 52. The role of active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation. *New phytologist*, 27-58.



- Smith A. L., Campbell C. L., Diwakar M. P., Hanover J. W., Miller R. O. (1989). Extracts from black locust heartwood as wood preservatives: a comparison of the methanol extract with pentachlorophenol and chromated copper arsenate. *Holzforschung* 43, 421–423.
- Smith, A. E., Martin, L. D. (1994). Allelopathic characteristics of three cool-season grass species in the forage ecosystem. *Agronomy Journal*, 86(2), 243-246.
- Souto, X. C., Chiapusio, G., Pellissier, F. (2000). Relationships between phenolics and soil microorganisms in spruce forests: significance for natural regeneration. *Journal of chemical ecology*, 26(9), 2025-2034.
- Stafford, H. A. (1990). Flavonoid metabolism. CRC Press; 1st edition, p. 360.
- Stahl, R. S., James, B. R. (1991). Zinc sorption by iron-oxide-coated sand as a function of pH. *Soil Science Society of America Journal*, 55(5), 1287-1290.
- Stanković M. (2012). Biološki efekti sekundarnih metabolita vrsta roda *Teucrium* L. flore Srbije. *Univerzitet u Kragujevcu, Prirodno-matematički fakultet*. Doktorska disertacija.
- Stešević, D., Petrović, D. (2010). Preliminary list of plant invaders in Montenegro. *Biologica Nyssana*, 1(1-2), 35-42.
- Stilinović, S. (1991): Pošumljavanje. Naučna knjiga, Beograd, p. 274.
- Stjepanović-Veseličić, L. (1979). Vegetacija Deliblatske peščare. u: II međunarodni simpozijum o zaštiti i unapređivanju deliblatskog peska, Beograd: Srpska akademija nauka i umetnosti / SANU, posebno izdanje, tom CCXVI, 4.
- Stone, K. R. (2009). *Robinia pseudoacacia*. *Fire Eff Inf Syst US Dep Agric For Serv Rocky Mt Res Station Fire Sci Lab United States* <http://www.fs.fed.us/database/feis/plants/tree/robpse/all.html>, 273.
- Sturz, A. V., Christie, B. R. (2003). Beneficial microbial allelopathies in the root zone: the management of soil quality and plant disease with rhizobacteria. *Soil and Tillage Research*, 72(2), 107-123.
- Sugiura Y., Nomoto K. (1984). Phytosiderophores structures and properties of mugineic acids and their metal complexes. In: Chimiak A, Hider RC, Liu A, Neilands JB, Nomoto K, Sugiura Y (eds) Siderophores from Microorganisms and Plants. *Structure and Bonding*, 58, 107–135, Springer, Berlin, Heidelberg.
- Suksungworn, R., Sanevas, N., Wongkantrakorn, N., Fangern, N., Vajrodaya, S., Duangsrilai, S. (2016). Phytotoxic effect of *Haldina cordifolia* on germination, seedling growth and root cell viability of weeds and crop plants. *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences*, 78, 175-181.
- Sutherland W. J., Freckleton R. P., Godfray H. C. J., Beissinger S. R., Benton T., Cameron D. D., Carmel Y. (2013). Identification of 100 fundamental ecological questions. *J Ecol* 101(1), 58–67.
- Szabo L. GY. (1999): Juglone index – a possibility for expressing allelopathic potential of plant taxa with various life strategies. *Acta Botanica Hungarica* 42(1-4): 295-305.
- Szigetvári, C. S. (2002). Initial steps in the regeneration of a floodplain meadow after a decade of dominance of an invasive transformer shrub, *Amorpha fruticosa* L. *Tiscia*, 33, 67-77.
- Szigetvari, C., Toth, T. (2008). False indigo (*Amorpha fruticosa* L.). *The most important invasive plants in Hungary*. Ed. by Z. Botta-Ducati, L. Balogh. *Vacratot: Institute of Ecology and Botany, Hungarian Academy of Sciences*, 55-61.
- Šćepanović, M., Novak, N., Barić, K., Ostojić, Z., Galzina, N., Goršić, M. (2007). Alelopatički utjecaj korovnih vrsta *Abutilon theophrasti* Med. i *Datura stramonium* L. na početni razvoj kukuruza. *Agronomski glasnik: Glasilo Hrvatskog agronomskog društva*, 69(6), 459-472.

- Šibíková, M., Jarolímek, I., Hegedúšová, K., Májeková, J., Mikulová, K., Slabejová, D., Medvecká, J. (2019). Effect of planting alien *Robinia pseudoacacia* trees on homogenization of Central European forest vegetation. *Science of the total environment*, 687, 1164-1175.
- Tanaka, Y., Nakamura, N., Togami, J. (2008). Altering flower color in transgenic plants by RNAi-mediated engineering of flavonoid biosynthetic pathway. In *RNAi* (pp. 245-257). Humana Press.
- Tateno, R., Tokuchi, N., Yamanaka, N., Du, S., Otsuki, K., Shimamura, T., Hou, Q. (2007). Comparison of litterfall production and leaf litter decomposition between an exotic black locust plantation and an indigenous oak forest near Yan'an on the Loess Plateau, China. *Forest Ecology and Management*, 241(1-3), 84-90.
- Tatić, B., Veljović, V., Marković, A., Petković, B. (1981). Prilog proučavanju serpentinske flore Jugoslavije. *Biosistematika*, 7, 123-135.
- Técher D., Laval-Gilly P., Henry S., Bennisroune A., Formanek P., Martinez-Chois C., D'Innocenzo M., Muanda F., Dicko A., Rejšek K., Falla J. (2011). Contribution of *Miscanthus x giganteus* root exudates to the biostimulation of PAH degradation: An in vitro study. *Sci Total Environ* 409, 4489-4495.
- Tharayil N., Bhowmik P., Alpert P., Walker E., Amarasiriwardena D., Xing B. (2009) Dual purpose secondary compounds: phytotoxin of *Centaurea diffusa* also facilitates nutrient uptake. *New Phytol* 181, 424-434.
- Theoharides, K. A., Dukes, J. S. (2007). Plant invasion across space and time: factors affecting nonindigenous species success during four stages of invasion. *New phytologist*, 176(2), 256-273.
- Thorpe, A. S., Aschehoug, E. T., Atwater, D. Z., Callaway, R. M. (2011). Interactions among plants and evolution. *Journal of Ecology*, 99(3), 729-740.
- Thorpe, A. S., Thelen, G. C., Diaconu, A., Callaway, R. M. (2009). Root exudate is allelopathic in invaded community but not in native community: field evidence for the novel weapons hypothesis. *Journal of Ecology*, 97(4), 641-645.
- Tilman, D. (1997). Community invasibility, recruitment limitation, and grassland biodiversity. *Ecology*, 78(1), 81-92.
- Tomić, Z., Rakonjac, LJ. (2013): Šumske fitocenozе Srbije. Institut za šumarstvo. Univerzitet Singidunum - Fakultet za primenjenu Ekologiju 'Futura', Beograd.
- Townsend, W. N., Gillham, E. W. F. (1975). Pulverized fuel ash as a medium for plant growth. In *Symposium of the British Ecological Society*.
- Tucović, A., Isajev, V. (2000). Kolonizacija šumskog staništa žbunovima *Amorpha fruticosa* L. u Srbiji i njene biološke osobine. *Acta herbologica*, 8(1), 43-54.
- Tucović, A., Vilotić, D., Ivetić, V. (2004). Morfofiziološke osobine stabala tetraploidnog bagrenca-*Amorpha fruticosa* L. *Acta herbologica*, 13(1), 199-206.
- Tutin, T., Heywood, V., Burges, A., Valentine, D. (eds) 1964-1993. Flora Europea. Vol 1-5. Cambridge University Press, Cambridge.
- Tyurin I. V. (1965). Agrochemical methods of soil analysis. Moskva, Nauka.
- U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) (2007). Method 3051A (SW-846): Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, and oils. Revision 1. Washington DC, 30 p.
- Ubaldi, D. (2013). Le vegetazioni erbacee e gli arbusteti italiani - Tipologie fitosociologiche ed ecologia (Aracne, Roma,).
- Udvardy, L. (2008). Tree of heaven (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle). The most important invasive plants in Hungary/Ed. by Z. Botta-Ducati, L. Balogh. Vacratot. Inst. Ecol. and Bot. Hung. Acad. Sei., p. 121-127.

- Uredba o graničnim vrednostima zagađujućih, štetnih i opasnih materija u zemljištu. Službeni glasnik RS", br. 64/2019, Prilog 1.
- Van Kleunen, M., Dawson, W., Maurel, N. (2015). Characteristics of successful alien plants. *Molecular Ecology*, 24(9), 1954-1968.
- Van Kleunen, M., Dawson, W., Schlaepfer, D., Jeschke, J. M., Fischer, M. (2010). Are invaders different? A conceptual framework of comparative approaches for assessing determinants of invasiveness. *Ecology letters*, 13(8), 947-958.
- Van Kleunen, M., Essl, F., Pergl, J., Brundu, G., Carboni, M., Dullinger, S., Dehnen-Schmutz, K. (2018). The changing role of ornamental horticulture in alien plant invasions. *Biological Reviews*, 93(3), 1421-1437.
- Van Wilgen, B. W., Richardson, D. M., Le Maitre, D. C., Marais, C., Magadla, D. (2001). The economic consequences of alien plant invasions: examples of impacts and approaches to sustainable management in South Africa. *Environment, development and sustainability*, 3(2), 145-168.
- Varnamkhandi, A. S., Milchunas, D. G., Lauenroth, W. K., Goetz, H. (1995). Production and rain use efficiency in short-grass steppe: grazing history, defoliation and water resource. *Journal of Vegetation Science*, 6(6), 787-796.
- Vilà, M., Basnou, C., Gollasch, S., Josefsson, M., Pergl, J., Scalera, R. (2009). One hundred of the most invasive alien species in Europe. In *Handbook of alien species in Europe* (pp. 265-268). Springer, Dordrecht.
- Vilà, M., Espinar, J. L., Hejda, M., Hulme, P. E., Jarošík, V., Maron, J. L., Pyšek, P. (2011). Ecological impacts of invasive alien plants: a meta-analysis of their effects on species, communities and ecosystems. *Ecology letters*, 14(7), 702-708.
- Vilà, M., Tessier, M., Suehs, C. M., Brundu, G., Carta, L., Galanidis, A., Hulme, P. E. (2006). Local and regional assessments of the impacts of plant invaders on vegetation structure and soil properties of Mediterranean islands. *Journal of Biogeography*, 33(5), 853-861.
- Vimmerstedt, J. P., House, M. C., Larson, M. M., Kasile, J. D., Bishop, B. L. (1989). Nitrogen and carbon accretion on Ohio coal minesoils: influence of soil-forming factors. *Landscape and Urban Planning*, 17(2), 99-111.
- Vítková, M., Kolbek, J. (2010). Vegetation classification and synecology of Bohemian *Robinia pseudoacacia* stands in a Central European context. *Phytocoenologia*, 40(2/3), 205-241.
- Vítková, M., Müllerová, J., Sádlo, J., Pergl, J., Pyšek, P. (2017). Black locust (*Robinia pseudoacacia*) beloved and despised: A story of an invasive tree in Central Europe. *Forest ecology and management*, 384, 287-302.
- Vítková, M., Sádlo, J., Roleček, J., Petřík, P., Sitzia, T., Müllerová, J., Pyšek, P. (2020). *Robinia pseudoacacia*-dominated vegetation types of Southern Europe: Species composition, history, distribution and management. *Science of The Total Environment*, 707, 134857.
- Vítková, M., Tonika, J., Müllerová, J. (2015). Black locust—Successful invader of a wide range of soil conditions. *Science of the Total Environment*, 505, 315-328.
- Vitousek, P. M. (1986). Biological invasions and ecosystem properties: can species make a difference?. In *Ecology of biological invasions of North America and Hawaii* (pp. 163-176). Springer, New York, NY.
- Vitousek, P. M. (1990). Biological invasions and ecosystem processes: towards an integration of population biology and ecosystem studies. In *Ecosystem management* (pp. 183-191). Springer, New York, NY.

- Vogel W. G. (1981) A guide for revegetating coal minespoils in the eastern United States. Gen. Tech. Rep. NE-68. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Broomall, PA, 190 pp.
- Von Holle, B., Joseph, K. A., Largay, E. F., Lohnes, R. G. (2006). Facilitations between the introduced nitrogen-fixing tree, *Robinia pseudoacacia*, and nonnative plant species in the glacial outwash upland ecosystem of Cape Cod, MA. *Biodiversity & Conservation*, 15(7), 2197-2215.
- Vrchotová, N., Šerá, B. (2008). Allelopathic properties of knotweed rhizome extracts. *Plant Soil Environ*, 54(7), 301-303.
- Vukićević E. (1973). Rod *Ailanthus* Desf. 1786-1788. Flora SR Srbije V, Josifović M. (Urednik), pp. 61-62. Srpska akademija nauka i umetnosti.
- Vuković, N. (2015). *Ekogeografija invazivne flore Hrvatske*. Doktorska disertacija. Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet.
- Waks, C. (1936). The influence of extract from *Robina pseudoacacia* on the growth barley. *Publ. Fac. Sci. Univ. Charles, Prague*, 150, 84-85.
- Wang, B., Zhao, X., Liu, Y., Fang, Y., Ma, R., Yu, Q., An, S. (2019). Using soil aggregate stability and erodibility to evaluate the sustainability of large-scale afforestation of *Robinia pseudoacacia* and *Caragana korshinskii* in the Loess Plateau. *Forest Ecology and Management*, 450, 117491.
- Wang, E. T., Van Berkum, P., Sui, X. H., Beyene, D., Chen, W. X., Martínez-Romero, E. (1999). Diversity of rhizobia associated with *Amorpha fruticosa* isolated from Chinese soils and description of *Mesorhizobium amorphae* sp. nov. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 49(1), 51-65.
- Wang, M. D., Chen, H. G., Liu, X. Y., Gao, Y. Q., Wu, K., Jia, X. C. (2009). Isolation and identification of allelochemicals from *Rehmannia glutinosa* that affect *Sesamum indicum*. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 33(6), 1191.
- Wang, Y., Li, Y., Ye, X., Chu, Y., Wang, X. (2010). Profile storage of organic/inorganic carbon in soil: From forest to desert. *Science of the Total Environment*, 408(8), 1925-1931.
- Wardle, D. A., Bardgett, R. D., Klironomos, J. N., Setälä, H., Van Der Putten, W. H., Wall, D. H. (2004). Ecological linkages between aboveground and belowground biota. *Science*, 304(5677), 1629-1633.
- Wardle, D. A., Nilsson, M. C., Gallet, C., Zackrisson, O. (1998). An ecosystem-level perspective of allelopathy. *Biological Reviews*, 73(3), 305-319.
- Waters, B. M., Grusak, M. A. (2008). Quantitative trait locus mapping for seed mineral concentrations in two *Arabidopsis thaliana* recombinant inbred populations. *New Phytologist*, 179(4), 1033-1047.
- Weber, E. (2003). *Invasive plant species of the world: a reference guide to environmental weeds*. CABI Publishing, Oxon. 548 p.
- Weidenhamer, J. D. (1996). Distinguishing resource competition and chemical interference: overcoming the methodological impasse. *Agronomy Journal*, 88(6), 866-875.
- Weir, T. L., Park, S. W., Vivanco, J. M. (2004). Biochemical and physiological mechanisms mediated by allelochemicals. *Current opinion in plant biology*, 7(4), 472-479.
- Wessely, J. (1873). *Der europäische flugsand und seine kultur: Besprochen im hinblicke auf Ungarn und die Banater wüste insbesondere*. Faesy & Frick. Wien.
- Westbrooks, Randy G. (1998). "Invasive Plants: Changing the Landscape of America". *All U.S. Government Documents (Utah Regional Depository)*, p. 490.

- Whitehead, D. C., Dibb, H., Hartley, R. D. (1982). Phenolic compounds in soil as influenced by the growth of different plant species. *Journal of Applied Ecology*, 579-588.
- Wilbur, R. L. (1975). A revision of the North American genus *Amorpha* (Leguminosae-Psoraleae). *Rhodora*, 77(811), 337-409.
- Williamson, M. H., Fitter, A. (1996). The characters of successful invaders. *Biological conservation*, 78(1-2), 163-170.
- Willis, R. J. (2007). *The history of allelopathy*. Springer Science & Business Media, p. 316.
- Wilson, R. E., Rice, E. L. (1968). Allelopathy as expressed by *Helianthus annuus* and its role in old-field succession. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 432-448.
- Windham, L., Weis, J. S., Weis, P. (2004). Metal dynamics of plant litter of *Spartina alterniflora* and *Phragmites australis* in Metal-Contaminated salt marshes. Part 1: Patterns of decomposition and metal uptake. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, 23(6), 1520-1528.
- Wittbrodt, P. R., Palmer, C. D. (1996). Effect of temperature, ionic strength, background electrolytes, and Fe (III) on the reduction of hexavalent chromium by soil humic substances. *Environmental science & technology*, 30(8), 2470-2477.
- Wu Y., Cheng X., Cai, Q., Lin. C. (2012). Allelopathic effects of twelve hedgerow plant species on seed germination and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Advanced Materials Research*, 356-360, 2767-2773.
- Xu, M., Gao, D., Fu, S., Lu, X., Wu, S., Han, X., Feng, Y. (2020). Long-term effects of vegetation and soil on the microbial communities following afforestation of farmland with *Robinia pseudoacacia* plantations. *Geoderma*, 367, 114263.
- Yamasaki, S., Sakata-Sogawa, K., Hasegawa, A., Suzuki, T., Kabu, K., Sato, E., Hirano, T. (2007). Zinc is a novel intracellular second messenger. *The Journal of cell biology*, 177(4), 637-645.
- Yeh, K. W., Lin, M. I., Tuan, S. J., Chen, Y. M., Lin, C. J., Kao, S. S. (1997). Sweet potato (*Ipomoea batatas*) trypsin inhibitors expressed in transgenic tobacco plants confer resistance against *Spodoptera litura*. *Plant Cell Reports*, 16(10), 696-699.
- Young, C. C. (1984). Non-polar macropore resin to recover phenolic acids from a subtropical latosol. *Soil Biology and Biochemistry*, 16(4), 377-380.
- Yu J. Q., Ye S. F., Zhang M. F., Hu W. H. (2003). Effects of root exudates and aqueous root extracts of cucumber (*Cucumis sativus*) and allelochemicals, on photosynthesis and antioxidant enzymes in cucumber. *Biochem Syst Ecol* 31, 129–139.
- Zavagno, F., D'Auria, G. (2001). Synecology and dynamics of *Amorpha fruticosa* communities in the Po plain (Italy). *Plant invasions: species ecology and ecosystem management*, 175-182.
- Zedler, J. B., Kercher, S. (2004). Causes and consequences of invasive plants in wetlands: opportunities, opportunists, and outcomes. *Critical Reviews in Plant sciences*, 23(5), 431-452.
- Zhang, F., Zhou, B., Wang, R., He, Y. (2005). Allelopathic effects of grafted eggplant root exudates. *Ying yong sheng tai xue bao= The journal of applied ecology*, 16(4), 750-753.
- Zhang, P., Li, B., Wu, J., Hu, S. (2019). Invasive plants differentially affect soil biota through litter and rhizosphere pathways: a meta-analysis. *Ecology letters*, 22(1), 200-210.
- Zhang, S. H., Guo, L., Cao, J. Y., Chang, J. J. (2015). Allelopathic Activities of Three Emergent Macrophytes on Several Monospecific Cyanobacterial Species and Natural Phytoplankton Assemblages. *Polish Journal of Environmental Studies*, 24(1).
- Zhang, Z., van Kleunen, M. (2019). Common alien plants are more competitive than rare natives but not than common natives. *Ecology letters*, 22(9), 1378-1386.

- Zhao, Z., Shahrour, I., Bai, Z., Fan, W., Feng, L., Li, H. (2013). Soils development in opencast coal mine spoils reclaimed for 1–13 years in the West-Northern Loess Plateau of China. *European Journal of Soil Biology*, 55, 40-46.
- Zheng, W. J. (1978). *Silviculture of Chinese Trees*. Beijing, China: China Agriculture Press.
- Zhou, Y. H., Yu, J. Q. (2006). Allelochemicals and photosynthesis. In In: *Allelopathy: a physiological process with ecological implications*. Reigosa, M. J., Pedrol, N., & González, L. (Eds.). (pp. 127-139). Springer, Dordrecht.
- Ziegler, J., Facchini, P. J. (2008). Alkaloid biosynthesis: metabolism and trafficking. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 59, 735-769.

## **Коришћене интернет странице:**

<http://www.issg.org/>

<http://www.iucngisd.org/gisd/>

<https://a3.geosrbija.rs/>

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hans\\_Molisch\\_\(1856%E2%80%931937\)\\_%C2%A9\\_Friedrich\\_Schiller\\_\(1850%E2%80%931928\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hans_Molisch_(1856%E2%80%931937)_%C2%A9_Friedrich_Schiller_(1850%E2%80%931928).jpg)

<https://geology.com/world/europe-physical-map.shtml>

<https://ojs.library.okstate.edu/osu/> (Biographical Skethc: Proffesor Elroy L. Rice)

<https://www.cabi.org/ISC>

[https://www.eppo.int/ACTIVITIES/invasive\\_alien\\_plants/iap\\_lists](https://www.eppo.int/ACTIVITIES/invasive_alien_plants/iap_lists)

<https://www.gbif.org/dataset/39f36f10-559b-427f-8c86-2d28afff68ca>

[https://www.reddit.com/r/serbia/comments/geuh5f/fizickogeografska\\_karta\\_srbije\\_sa\\_naseljima/](https://www.reddit.com/r/serbia/comments/geuh5f/fizickogeografska_karta_srbije_sa_naseljima/)

## **9. Прилози**





**Прилог 1.** Коэффициент корелације (r) између вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* и хемијских карактеристика супстрата, садржаја хемијских елемената и фенолних једињења у ризосферном супстрату *R. pseudoacacia* на различитим стаништима

Параметар/станиште	Делиблатска пешчара		Депонија пепела (ТЕНТ-А)		Јаловиште азбеста (Страгари)	
	Инхибиција раста коренка <i>T. pratense</i>					
рН (H <sub>2</sub> O)	r = +	<b>0.984</b> ***	r = -	<b>0.880</b> **	r = +	0.306 ns
рН (KCl)	r = +	<b>0.994</b> ***	r = -	<b>0.928</b> ***	r = +	<b>0.948</b> ***
C	r = +	0.405 ns	r = +	0.011 ns	r = -	<b>0.769</b> *
N	r = -	0.419 ns	r = +	<b>0.851</b> **	r = -	0.636 ns
C/N	r = +	<b>0.984</b> ***	r = -	0.546 ns	r = -	0.620 ns
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	r = -	<b>0.979</b> ***	r = +	<b>0.676</b> *	r = -	<b>0.883</b> **
K <sub>2</sub> O	r = +	<b>0.691</b> *	r = -	0.530 ns	r = -	0.639 ns
Cr	r = -	0.115 ns	r = +	<b>0.954</b> ***	r = -	0.343 ns
Cu	r = -	<b>0.685</b> *	r = +	<b>0.987</b> ***	r = -	0.346 *
Fe	r = +	<b>0.762</b> *	r = +	<b>0.724</b> *	r = +	0.527 ns
Mn	r = +	<b>0.859</b> **	r = +	<b>0.985</b> ***	r = -	<b>0.917</b> **
Ni	r = +	0.046 ns	r = -	<b>0.955</b> ***	r = +	<b>0.955</b> ***
Zn	r = -	<b>0.928</b> ***	r = +	<b>0.943</b> ***	r = -	0.525 ns
3,5-DHBA	r = -	0.995 ***	r = -	0.802 **	r =	/
3-НВА	r = +	<b>0.919</b> ***	r = +	0.029 ns	r =	/
Ферулинска киселина	r = -	0.012 ns	r = -	0.998 ***	r =	/
<i>n</i> -Кумаринска киселина	r = +	<b>0.611</b> **	r =	/	r =	/
Рутин	r = -	0.301	r = -	0.869 ***	r =	/

\*p<0.05, \*\*p<0.01, \*\*\*p<0.001; ns = нема статистичке значајности, / - није детектовано

**Прилог 2.** Коэффициент корелације (r) између вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* и садржаја хемијских елемената и фенолних једињења у листовима *R. pseudoacacia* на различитим стаништима

Параметар/станиште	Делиблатска пешчара		Депонија пепела (ТЕНТ-А)		Јаловиште азбеста (Страгари)	
	Инхибиција раста коренка <i>T. pratense</i>					
Cr	r = -	<b>0.878</b> **	r = +	0.125 ns	r = +	<b>0.846</b> *
Cu	r = +	<b>0.829</b> **	r = -	<b>0.723</b> *	r = +	<b>0.955</b> ***
Fe	r = -	<b>0.966</b> ***	r = +	0.593 ns	r = +	0.577 ns
Mn	r = -	<b>0.981</b> ***	r = -	<b>0.715</b> *	r = +	<b>0.957</b> ***
Ni	r = +	<b>0.970</b> **	r = +	<b>0.450</b> *	r = +	0.581 ns
Zn	r = +	0.347 ns	r = -	<b>0.808</b> **	r = +	<b>0.894</b> **
3,5-DHBA	r = +	0.477 ns	r = +	<b>0.851</b> **	r = -	<b>0.743</b> *
3-НВА	r = -	<b>0.751</b> *	r = +	0.362 ns	r = +	<b>0.746</b> *
Ферулинска киселина	r = +	<b>0.872</b> **	r = +	<b>0.945</b> ***	r = +	<b>0.817</b> *
<i>n</i> -Кумаринска киселина	r = +	<b>0.746</b> *	r = +	<b>0.898</b> *	r = -	<b>0.734</b> *
Рутин	r = +	0.521 ns	r = +	0.621 ns	r = -	0.621 ns

\*p<0.05, \*\*p<0.01, \*\*\*p<0.001; ns = нема статистичке значајности

**Прилог 3.** Коефицијент корелације (r) између вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* и хемијских карактеристика супстрата, садржаја хемијских елемената и фенолних једињења у ризосферном супстрату *A. altissima* на различитим стаништима

Параметар/станиште	Делиблатска пешчара		Депонија пепела (ТЕНТ-А)		Кречњачко станиште (Крш – Велики Шењ)	
	Инхибиција раста коренка <i>T. pratense</i>					
pH (H <sub>2</sub> O)	r = -	0.601 <sup>ns</sup>	r = -	<b>0.747</b> <sup>*</sup>	r = +	<b>0.916</b> <sup>***</sup>
pH (KCl)	r = -	<b>0.745</b> <sup>*</sup>	r = -	<b>0.998</b> <sup>***</sup>	r = +	<b>0.534</b> <sup>*</sup>
C	r = +	<b>0.957</b> <sup>***</sup>	r = +	0.201 <sup>ns</sup>	r = +	<b>0.754</b> <sup>***</sup>
N	r = +	<b>0.875</b> <sup>**</sup>	r = +	<b>0.842</b> <sup>**</sup>	r = +	<b>0.625</b> <sup>**</sup>
C/N	r = +	0.513 <sup>ns</sup>	r = +	<b>0.941</b> <sup>***</sup>	r = +	<b>0.945</b> <sup>***</sup>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	r = +	<b>0.752</b> <sup>*</sup>	r = +	0.649 <sup>ns</sup>	r = +	0.290 <sup>ns</sup>
K <sub>2</sub> O	r = +	<b>0.759</b> <sup>*</sup>	r = -	0.665 <sup>ns</sup>	r = -	0.604 <sup>ns</sup>
Cr	r = +	<b>0.844</b> <sup>**</sup>	r = -	0.467 <sup>ns</sup>	r = +	0.394 <sup>ns</sup>
Cu	r = -	0.669 <sup>*</sup>	r = -	<b>0.764</b> <sup>*</sup>	r = +	0.348 <sup>ns</sup>
Fe	r = -	<b>0.969</b> <sup>***</sup>	r = -	<b>0.756</b> <sup>*</sup>	r = -	<b>0.947</b> <sup>***</sup>
Mn	r = -	<b>0.910</b> <sup>**</sup>	r = -	<b>0.720</b> <sup>*</sup>	r = -	<b>0.916</b> <sup>**</sup>
Ni	r = -	<b>0.897</b> <sup>**</sup>	r = -	0.631 <sup>ns</sup>	r = -	<b>0.758</b> <sup>*</sup>
Zn	r = -	<b>0.669</b> <sup>*</sup>	r = -	<b>0.959</b> <sup>***</sup>	r = -	<b>0.968</b> <sup>***</sup>
3,5-DHBA	r = +	0.145 <sup>**</sup>	r = +	0.302 <sup>ns</sup>	r = +	<b>0.935</b> <sup>***</sup>
3-HBA	r = +	<b>0.766</b> <sup>***</sup>	r =	/	r =	/
Ферулинска киселина	r = -	0.016 <sup>ns</sup>	r = +	0.236 <sup>ns</sup>	r = +	<b>0.938</b> <sup>***</sup>
<i>n</i> -Кумаринска киселина	r =	/	r =	/	r =	/
Рутин	r = -	0.802 <sup>**</sup>	r = -	0.222 <sup>ns</sup>	r =	/

\*p<0.05, \*\*p<0.01, \*\*\*p<0.001; ns = нема статистичке значајности; / - није детектовано

**Прилог 4.** Коефицијент корелације (r) између вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* и садржаја хемијских елемената и фенолних једињења у листовима *A. altissima* на различитим стаништима

Параметар/станиште	Делиблатска пешчара		Депонија пепела (ТЕНТ-А)		Кречњачко станиште (Крш – Велики Шењ)	
	Инхибиција раста коренка <i>T. pratense</i>					
Cr	r = +	0.605 <sup>ns</sup>	r = -	<b>0.808</b> <sup>**</sup>	r = -	<b>0.742</b> <sup>*</sup>
Cu	r = -	<b>0.862</b> <sup>**</sup>	r = +	<b>0.842</b> <sup>*</sup>	r = -	0.459 <sup>ns</sup>
Fe	r = -	<b>0.822</b> <sup>**</sup>	r = -	<b>0.772</b> <sup>*</sup>	r = -	0.319 <sup>ns</sup>
Mn	r = -	0.574 <sup>ns</sup>	r = -	<b>0.847</b> <sup>**</sup>	r = +	<b>0.937</b> <sup>***</sup>
Ni	r = -	0.587 <sup>ns</sup>	r = -	0.634 <sup>ns</sup>	r = -	<b>0.908</b> <sup>**</sup>
Zn	r = -	<b>0.954</b> <sup>***</sup>	r = -	0.673 <sup>ns</sup>	r = +	<b>0.844</b> <sup>**</sup>
3,5-DHBA	r = +	<b>0.973</b> <sup>***</sup>	r = +	<b>0.881</b> <sup>**</sup>	r = +	<b>0.982</b> <sup>***</sup>
3-HBA	r = +	0.207 <sup>ns</sup>	r = +	0.061 <sup>ns</sup>	r = +	<b>0.711</b> <sup>*</sup>
Ферулинска киселина	r = +	0.318 <sup>ns</sup>	r = -	<b>0.818</b> <sup>**</sup>	r = +	<b>0.915</b> <sup>**</sup>
<i>n</i> -Кумаринска киселина	r = +	<b>0.959</b> <sup>***</sup>	r = +	<b>0.836</b> <sup>**</sup>	r = +	<b>0.908</b> <sup>**</sup>
Рутин	r = +	<b>0.955</b> <sup>**</sup>	r = +	<b>0.823</b> <sup>**</sup>	r = +	<b>0.987</b> <sup>***</sup>

\*p<0.05, \*\*p<0.01, \*\*\*p<0.001; ns = нема статистичке значајности;

**Прилог 5.** Коэффициент корелације (r) између вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* и хемијских карактеристика супстрата, садржаја хемијских елемената и фенолних једињења у ризосферном супстрату *A. fruticosa* на различитим стаништима

Параметар/станиште	Делиблатска пешчара		Депонија пепела (ТЕНТ-А)		Алувијални нанос Велике Мораве (Багрдан)				
	Инхибиција раста коренка <i>T. pratense</i>								
pH (H <sub>2</sub> O)	r = +	0.222	ns	r = -	0.059	ns	r = -	0.778	***
pH (KCl)	r = +	0.587	*	r = +	0.459	ns	r = -	0.922	***
C	r = +	0.532	*	r = +	0.887	***	r = -	0.779	***
N	r = +	0.728	**	r = +	0.608	**	r = -	0.857	***
C/N	r = +	0.027	ns	r = +	0.878	***	r = -	0.357	ns
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	r = +	0.872	***	r = +	0.551	*	r = +	0.910	***
K <sub>2</sub> O	r = +	0.859	**	r = +	0.751	***	r = +	0.665	**
Cr	r = +	0.734	**	r = +	0.691	**	r = +	0.890	***
Cu	r = +	0.541	ns	r = +	0.843	***	r = +	0.937	***
Fe	r = -	0.527	*	r = +	0.783	***	r = +	0.964	***
Mn	r = -	0.711	**	r = -	0.441	ns	r = +	0.955	***
Ni	r = +	0.313	ns	r = +	0.684	**	r = +	0.947	***
Zn	r = +	0.678	**	r = +	0.554	*	r = +	0.478	*
3,5-DHBA	r = +	0.949	***	r = +	0.556	ns	r = -	0.483	*
3-HBA	r = +	0.149	ns	r = +	0.807	***	r =	/	
Ферулинска киселине	r = +	0.816	***	r = -	0.399	ns	r =	/	
<i>n</i> -Кумаринска киселина	r = +	0.324	ns	r =	/		r =	/	
Рутин	r = +	0.905	***	r = +	0.479	*	r = -	0.967	***

\*p<0.05, \*\*p<0.01, \*\*\*p<0.001; ns = нема статистичке значајности; / - није детектовано

**Прилог 6.** Коэффициент корелације (r) између вредности инхибиције раста коренка *T. pratense* и садржаја хемијских елемената и фенолних једињења у листовима *A. fruticosa* на различитим стаништима

Параметар/станиште	Делиблатска пешчара		Депонија пепела (ТЕНТ-А)		Алувијални нанос Велике Мораве (Багрдан)				
	Инхибиција раста коренка <i>T. pratense</i>								
Cr	r = -	0.969	**	r = -	0.958	**	r =	/	
Cu	r = +	0.983	***	r = +	0.965	**	r = +	0.733	*
Fe	r = -	0.582	ns	r = -	0.831	*	r = -	0.305	ns
Mn	r = +	0.886	*	r = +	0.947	**	r = -	0.800	*
Ni	r = -	0.735	*	r = +	0.495	ns	r = +	0.391	ns
Zn	r = +	0.935	**	r = +	0.859	*	r = -	0.682	*
3,5-DHBA	r = +	0.525	ns	r = +	0.968	***	r = +	0.479	ns
3-HBA	r = -	0.994	***	r = +	0.952	***	r = +	0.159	ns
Ферулинска киселина	r = +	0.875	**	r = +	0.667	*	r = -	0.974	***
<i>n</i> -Кумаринска киселина	r = +	0.881	**	r = +	0.820	**	r = -	0.989	***
Рутин	r = +	0.858	**	r = +	0.676	*	r = -	0.491	ns

\*p<0.05, \*\*p<0.01, \*\*\*p<0.001; ns = нема статистичке значајности

## БИОГРАФИЈА



Филип Грбовић је рођен 11. децембра 1988. године у Крагујевцу, где је завршио Основну школу „Свети Сава“ и Прву крагујевачку гимназију. Основне академске студије биологије на Природно-математичком факултету Универзитета у Крагујевцу завршио је 2010. године са просечном оценом 9.59, а мастер академске студије биологије (модул мастер биолог – еколог) завршио је 2012. године са просечном оценом 9.79. Исте године уписује докторске академске студије биологије на Природно-математичком факултету Универзитета у Крагујевцу. Све испите предвиђене наставним планом и програмом положио је са просечном оценом 10.00. У току студија награђиван је два пута Наградом за најбоље студенте Природно-математичког факултета као и Наградом „Академик Драгослав Срејовић“ Скупштине града Крагујевца. Као стипендиста-докторант је од 2013.

године ангажован на пројекту Министарства просвете, науке и технолошког развоја „Преклиничка испитивања биоактивних супстанци“, а од 2017. године запослен је на истом пројекту као истраживач-сарадник. У току докторских студија ангажован је у извођењу практичне наставе из предмета Морфологија биљака, Механизми адаптације биљака, Ендемична флора и вегетација Балканског полуострва и Ботанички практикум. У свом досадашњем научно-истраживачком раду публиковао је 31 библиографску јединицу: пет радова у међународним научним часописима са SCI листе, три рада у националним научним часописима, једно саопштење на међународном скупу штампано у целини, девет саопштења на међународним скуповима штампаних у изводу, осам саопштења са скупа националног значаја штампано у целини, пет саопштења са скупа националног значаја штампано у изводу. Филип Грбовић је дугогодишњи активни члан и актуелни председник Еколошког истраживачког друштва „Младен Караман“. У оквиру рада у ЕИД „Младен Караман“ руководио је и координисао на седам научно-истраживачких пројеката и четири научно-истраживачка кампа, две трибине и више семинара и радионица на тему екологије и заштите животне средине.

## Allelopathic potential of selected woody species growing on fly-ash deposits

Filip Grbović<sup>1,\*</sup>, Gordana Gajić<sup>3</sup>, Snežana Branković<sup>1</sup>, Zoran Simić<sup>2</sup>, Andrija Ćirić<sup>2</sup>, Ljubinko Rakonjac<sup>4</sup>, Pavle Pavlović<sup>3</sup> and Marina Topuzović<sup>1</sup>

<sup>1</sup> University of Kragujevac, Faculty of Science, Department of Biology and Ecology, Radoja Domanovića 12, 34000 Kragujevac, Serbia

<sup>2</sup> University of Kragujevac, Faculty of Science, Department of Chemistry, Radoja Domanovića 12, 34000 Kragujevac, Serbia

<sup>3</sup> University of Belgrade, Institute for Biological Research "Siniša Stanković", Department of Ecology, Bulevar despota Stefana 142, 11060 Belgrade, Serbia

<sup>4</sup> Institute of Forestry Belgrade, Kneza Višeslava 3, 11030 Belgrade, Serbia

\*Corresponding author: [filip.grbovic@pmf.kg.ac.rs](mailto:filip.grbovic@pmf.kg.ac.rs)

Received: August 23, 2018; Revised: October 12, 2018; Accepted: October 17, 2018; Published online: November 7, 2018

**Abstract:** The objective of this study was to determine the allelopathic potential of *Robinia pseudoacacia* L., *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle and *Amorpha fruticosa* L. that grow on the fly-ash deposits at the "Nikola Tesla – A" thermoelectric power plant in Obrenovac. The chemical characteristics of fly ash, such as pH, electrical conductivity (EC), content of carbon (C) and nitrogen (N), contents of available phosphorus (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) and potassium (K<sub>2</sub>O), the contents of total and available Fe, Cu, Mn, Ni and Zn as well as of phenolic acids (3,5 dihydroxybenzoic acid (3,5-DHBA) and ferulic acid) and flavonoids (rutin and quercetin) were analyzed in control fly ash (bare zones without vegetation cover) and plant rhizospheric fly ash. In order to determine the allelopathic activity of phenolic compounds in fly ash, modified soil sandwich allelopathic biotests were performed, and *Trifolium pratense* L. (red clover) was used as the indicator species. *A. fruticosa* showed the highest allelopathic activity, followed by *A. altissima* whereas *R. pseudoacacia* showed the lowest allelopathic potential. Negative correlation was noted between radicle and hypocotyl growth inhibition of red clover and the pH of fly ash. Positive correlations were found between radicle growth inhibition and the content of C, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, total concentrations of Cu, available concentrations of Mn and Ni, the contents of ferulic acid, 3,5-DHBA, and rutin. Our results indicate that *A. fruticosa* and *A. altissima* increased the content of phenolics in fly ash, which can act as allelochemicals leading to radicle growth inhibition of red clover in the pioneer plant community on fly-ash deposits. These woody species that colonized fly-ash deposits can initiate the beginning of pedogenetic processes altering the ecosystem processes at degraded sites.

**Keywords:** allelopathy; flavonoids; fly ash; invasive plant species; phenolic acids; radicle growth inhibition

## INTRODUCTION

Allelopathy presents both inhibitory and stimulatory interactions between plants through the action of secondary plant metabolites – allelochemicals [1,2]. Allelochemicals are often investigated as compounds that potentially allow the invasion of plant species in new habitats due to the lack of adaptive potential of native species to new allelochemicals originating from introduced species [3]. One of the most studied groups of allelochemicals are phenolic compounds, which in plant tissue can be found in soluble form or bound to the cell wall polysaccharides [4,5].

Phenolic compounds from the plant organism are delivered into soil by leaching from the surface of the plant and fallen leaves, decomposition of litter, and active excretion from roots [6]. Most of the phenolic compounds are soluble in water and rinsed from the surface of the plant body and transferred to the deeper parts of the soil by rainwater [7]. In soil, phenolic compounds represent the second most widespread group of compounds (after cellulose), and occur in three different forms: free, reversibly bound and bound [8]. However, the concentration of phenolic compounds in the soil is much lower than in plant organisms [9].





J. Serb. Chem. Soc. 85 (1) 141–153 (2020)  
JSCS–5289

Journal of  
the Serbian  
Chemical Society



JSCS-info@shd.org.rs • www.shd.org.rs/JSCS

UDC 581.144.2/3+553.676:581.143:539.196:  
547.562+550.4

Original scientific paper

### Complex effect of *Robinia pseudoacacia* L. and *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle growing on asbestos deposits: Allelopathy and biogeochemistry

FILIP J. GRBOVIĆ<sup>1\*</sup>, GORDANA M. GAJIĆ<sup>2</sup>, SNEŽANA R. BRANKOVIĆ<sup>1</sup>, ZORAN B. SIMIĆ<sup>3</sup>, NENAD L. VUKOVIĆ<sup>3</sup>, PAVLE Ž. PAVLOVIĆ<sup>2</sup> and MARINA D. TOPUZOVIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>University of Kragujevac, Faculty of Science, Department of Biology and Ecology, Radoja Domanovića 12, 34000 Kragujevac, Serbia, <sup>2</sup>University of Belgrade, Institute for Biological Research “Siniša Stanković”, Department of Ecology, Bulevar despota Stefana 142, 11060 Belgrade, Serbia and <sup>3</sup>University of Kragujevac, Faculty of Science, Department of Chemistry, Radoja Domanovića 12, 34000 Kragujevac, Serbia

(Received 16 April, revised 19 June, accepted 20 June 2019)

**Abstract:** Asbestos is widely mined and used around the globe posing a great risk to environment and human health. The main objective of this study was to determine allelopathic potential of *Robinia pseudoacacia* L. and *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle growing on the asbestos deposits at abandoned mine “Stragari” in central Serbia. The pH, content of carbon, nitrogen, calcium carbonate, available phosphorous and potassium, content of Fe, Ni, Cu, Zn, Pb, Mn, and phenolics were analyzed in the control asbestos (zones without vegetation cover) and plant rhizospheric asbestos. Allelopathic activity of plant species was assessed by “rhizosphere soil method”, and *Trifolium pratense* L. and *Medicago sativa* L. were used as the indicator species. *A. altissima* showed higher allelopathic potential compared to *R. pseudoacacia* for *T. pratense* and *M. sativa* due to greater content of phenolics. Allelopathic activity of phenolics in rhizospheric asbestos was highly correlated with pH, content of carbon and nitrogen, available phosphate and potassium, and content of Ni, Cu, Zn, Pb and Mn. *A. altissima* increased phenolics content in rhizospheric asbestos inhibiting the plant growth. This woody plant in spite of high allelopathic potential is suitable for revegetation of disturbed ecosystems because it initiates pedogenesis and affects the asbestos chemistry.

**Keywords:** woody species; allelochemicals; degraded habitats; phenolic acids; flavonoids; radicle growth inhibition.

\* Corresponding author. E-mail: filip.grbovic@pmf.kg.ac.rs  
<https://doi.org/10.2298/JSC190416062G>



УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ  
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ  
ИНСТИТУТ ЗА БИОЛОГИЈУ И ЕКОЛОГИЈУ

Радоја Домановића 12, 34000 Крагујевац, Србија



### КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈА

<b>Редни број</b>	
<b>Тип записа</b>	Текстуални штампани материјал
<b>Врста рада</b>	Докторска дисертација
<b>Аутор</b>	Филип Грбовић
<b>Ментор</b>	Проф. др Марина Топузовић
<b>Наслов рада</b>	Алелопатски потенцијал изабраних инвазивних врста биљака из различитих екосистема Србије
<b>Језик публикације</b>	Српски (ћирилица)
<b>Језик извода</b>	Српски
<b>Земља публикавања</b>	Србија
<b>Година публикације</b>	2021.
<b>Издавач</b>	Ауторски репринт
<b>Место и адреса</b>	Радоја Домановића 12, 34000 Крагујевац, Србија
<b>Научна област</b>	Биологија
<b>Научна дисциплина</b>	Екологија биљака
<b>Предметна одредница/кључне речи</b>	инвазивне биљне врсте, <i>Robinia pseudoacacia</i> L., <i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle, <i>Amorpha fruticosa</i> L., алелохемикалије, фенолна једињења, инхибиција раста коренка, хемијска екологија, антропогено измењена станишта
<b>Чува се</b>	У библиотеци Природно-математичког факултета у Крагујевцу, Р.Домановића 12, 34000 Крагујевац, Србија
<b>Важна напомена</b>	
<b>Извод</b>	
Алелопатија је један од кључних механизма који омогућава алохтоним биљним врстама да постану инвазивне у ареалу интродукције. Главни циљ истраживања ове докторске дисертације био је утврђивање алелопатског потенцијала инвазивних биљних врста <i>Robinia pseudoacacia</i> L., <i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle и <i>Amorpha fruticosa</i> L. које расту на различитим стаништима: Делиблатска пешчара, депонија пепела, јаловиште азбеста, кречњак и алувијални нанос Велике Мораве. Резултати истраживања указали су на већи алелопатски потенцијал <i>A. altissima</i> и <i>A. fruticosa</i> у	



УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ  
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ  
ИНСТИТУТ ЗА БИОЛОГИЈУ И ЕКОЛОГИЈУ

Радоја Домановића 12, 34000 Крагујевац, Србија



односу на *R. pseudoacacia* на свим стаништима. Веће вредности инхибиције раста коренка индикаторске врсте *Trifolium pratense* L. биле су везане за ниже вредности рН, већи садржај С, N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni и Zn, као и већи садржај фенолних једињења (3,5-DHBA, 3-HBA, *n*-кумаринске киселине, ферулинске киселине и рутина) у супстрату. Инхибиција раста коренка била је позитивно корелисана са садржајем фенолних једињења у листовима. Висок садржај фенолних једињења у листовима и њихова висока инхибиторна активност могу бити резултат токсичног садржаја Ni и Cr, као и дефицита Zn и Mn у листовима биљака. Стеља *A. fruticosa* и *A. altissima* се карактерисала већим садржајем фенолних једињења и инхибицијом раста коренка *T. pratense* у односу на *R. pseudoacacia*. Такође, стеља испитиваних врста биљака на различитим стаништима се карактерисала већим садржајем хемијских елемената у односу на листове услед директне апсорпције тешких метала из супстрата у стељу, и њихове акумулације на крају сезоне у листовима. Резултати ове докторске дисертације указују да испитиване биљне врсте имају позитиван ефекат на хемизам супстрата и могу бити погодне за обнову вегетације на антропогено измењеним стаништима, али уз ризик инвазивности услед потенцијалног алелопатског ефекта на друге врсте у екосистему.

Датум прихватања теме од стране ННВ	08.02.2017.
Датум одбране	
Чланови комисије	<p>Др <b>Гордана Гајић</b>, виши научни сарадник Институт за биолошка истраживања „Синиша Станковић“ Универзитет у Београду Институт од националног значаја за Републику Србију</p> <p>Др <b>Милан Станковић</b>, ванредни професор Институт за Биологију и Екологију Природно-математички факултет Универзитет у Крагујевцу</p> <p>Др <b>Снежана Бранковић</b>, доцент Институт за Биологију и Екологију Природно-математички факултет Универзитет у Крагујевцу</p>





УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ  
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ  
ИНСТИТУТ ЗА БИОЛОГИЈУ И ЕКОЛОГИЈУ  
Радоја Домановића 12, 34000 Крагујевац, Србија



## KEYWORDS DOCUMENTATION

<b>Accession number</b>	
<b>Type of record</b>	Textual material, printed
<b>Contents code</b>	PhD thesis
<b>Author</b>	Filip Grbović
<b>Mentor</b>	Prof. dr Marina Topozović
<b>Title</b>	Allelopathic potential of selected invasive plant species from different ecosystems of Serbia
<b>Language of text</b>	Serbian (Roman) (scr)
<b>Language of abstract</b>	Serbian (Roman) / English
<b>Country of publication</b>	Serbia
<b>Publication year</b>	2021.
<b>Publisher</b>	Publisher Copyright reprint
<b>Publisher place</b>	Radoja Domanovića 12 34000 Kragujevac, Serbia
<b>Scientific field</b>	Biology
<b>Scientific discipline</b>	Plant Ecology
<b>Key words</b>	invasive species, <i>Robinia pseudoacacia</i> L., <i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle, <i>Amorpha fruticosa</i> L., allelochemicals, phenolic compounds, radicle growth inhibition, chemical ecology, degraded habitats
<b>Holding data</b>	In library of Faculty of Science, Kragujevac 34000 Kragujevac, Serbia, R. Domanovića 12
<b>Note</b>	
<b>Summary</b>	
Allelopathy is one of the key mechanisms that allows non-native plant species to become invasive in the area of introduction. The aim of the research of this doctoral dissertation was to determine the allelopathic potential of invasive plant species <i>Robinia pseudoacacia</i> L., <i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle and <i>Amorpha fruticosa</i> L. growing in different habitats: Deliblato sand, fly ash deposits, asbestos tailings, limestone and alluvial sediment of Velika Morava river. The results of the study indicated a higher allelopathic potential of	



УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ  
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ  
ИНСТИТУТ ЗА БИОЛОГИЈУ И ЕКОЛОГИЈУ

Радоја Домановића 12, 34000 Крагујевац, Србија



*A. altissima* and *A. fruticosa* compared to *R. pseudoacacia* in all habitats. Higher values of root growth inhibition of the indicator species *Trifolium pratense* L. were associated with lower pH values, higher content of C, N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni and Zn, as well as higher content of phenolic compounds (3,5-DHBA, 3-HBA, p-coumaric acid, ferulic acid and rutin) in the substrate. Root growth inhibition was positively correlated with the content of phenolics in the leaves. The high content of phenolics in the leaves and their high inhibitory activity can be the result of the toxic content of Ni and Cr, as well as the deficiency of Zn and Mn in the leaves of plants. The litter of *A. fruticosa* and *A. altissima* was characterized by a higher content of phenolics and inhibition of *T. pratense* root growth, compared to *R. pseudoacacia*. Also, the litter of the investigated plant species in different habitats was characterized by a higher content of chemical elements compared to the leaves, due to the direct absorption of heavy metals from the substrate, and their accumulation in the leaves at the end of the vegetation season. The results of this doctoral dissertation indicate that the selected plant species have a positive effect on substrate chemistry and may be suitable for revegetation in anthropogenically degraded habitats, but with the risk of invasiveness due to potential allelopathic effect on other plant species in the ecosystem.

Accepted by Scientific Board on	08.02.2017.
Defended on	
Commission	<p><b>Gordana Gajić, PhD</b> Senior research associate Institute for Biological Research „Siniša Stanković“ University of Belgrade National Institute of Republic of Serbia</p> <p><b>Milan Stanković, PhD</b> Associate professor Department of Biology and Ecology Faculty of Science University of Kragujevac</p> <p><b>Snežana Branković, PhD</b> Assistant professor Department of Biology and Ecology Faculty of Science University of Kragujevac</p>

**ИЗЈАВА АУТОРА О ОРИГИНАЛНОСТИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ**

Ја, Филип Грбовић, изјављујем да докторска дисертација под насловом:

Алелопатски потенцијал изабраних инвазивних врста биљака

из различитих екосистема Србије

која је одбрањена на Природно-математичком факултету  
Универзитета у Крагујевцу представља *оригинално ауторско дело* настало као резултат *сопственог истраживачког рада*.

Овом Изјавом такође потврђујем:

- да сам *једини аутор* наведене докторске дисертације,
- да у наведеној докторској дисертацији *нисам извршио/ла повреду* ауторског нити другог права интелектуалне својине других лица,
- да умножени примерак докторске дисертације у штампаној и електронској форми у чијем се прилогу налази ова Изјава садржи докторску дисертацију истоветну одбрањеној докторској дисертацији.

У Крагујевцу, 17.06.2021. године,

  
потпис аутора

**ИЗЈАВА АУТОРА О ИСКОРИШЋАВАЊУ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ**

Ја, Филип Грбовић

дозвољавам

не дозвољавам

Универзитетској библиотеци у Крагујевцу да начини два трајна умножена примерка у електронској форми докторске дисертације под насловом:

Алелопатски потенцијал изабраних инвазивних врста биљака из  
различитих екосистема Србије

која је одбрањена на Природно-математичком факултету

Универзитета у Крагујевцу, и то у целини, као и да по један примерак тако умножене докторске дисертације учини трајно доступним јавности путем дигиталног репозиторијума Универзитета у Крагујевцу и централног репозиторијума надлежног министарства, тако да припадници јавности могу начинити трајне умножене примерке у електронској форми наведене докторске дисертације путем *преузимања*.

Овом Изјавом такође

дозвољавам

не дозвољавам<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Уколико аутор изабере да не дозволи припадницима јавности да тако доступну докторску дисертацију користе под условима утврђеним једном од *Creative Commons* лиценци, то не искључује право припадника јавности да наведену докторску дисертацију користе у складу са одредбама Закона о ауторском и сродним правима.

припадницима јавности да тако доступну докторску дисертацију користе под условима утврђеним једном од следећих *Creative Commons* лиценци:

- 1) Ауторство
- 2) Ауторство - делити под истим условима
- 3) Ауторство - без прерада
- 4) Ауторство - некомерцијално
- ⑤ Ауторство - некомерцијално - делити под истим условима
- 6) Ауторство - некомерцијално - без прерада<sup>2</sup>

У Крагујевцу \_\_\_\_\_, 17.06.2021. године,

  
\_\_\_\_\_

потпис аутора

---

<sup>2</sup> Молимо ауторе који су изабрали да дозволе припадницима јавности да тако доступну докторску дисертацију користе под условима утврђеним једном од *Creative Commons* лиценци да заокруже једну од понуђених лиценци. Детаљан садржај наведених лиценци доступан је на: <http://creativecommons.org/rs/>