Sveučilište u Zagrebu
AGRONOMSKI FAKULTET

Anamarija Peter

ENERGETSKA I FUNKCIONALNA VRIJEDNOST STRANIH INVAZIVNIH BILJNIH VRSTA NA PODRUČJU ŽUMBERAČKOG GORJA

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2024.

University of Zagreb
FACULTY OF AGRICULTURE

Anamarija Peter

ENERGY AND FUNCTIONAL VALUE OF ALIEN INVASIVE PLANT SPECIES IN THE ŽUMBERAK HIGHLANDS AREA

DOCTORAL THESIS

Zagreb, 2024.

Sveučilište u Zagrebu
AGRONOMSKI FAKULTET

ANAMARIJA PETER

ENERGETSKA I FUNKCIONALNA VRIJEDNOST STRANIH INVAZIVNIH BILJNIH VRSTA NA PODRUČJU ŽUMBERAČKOG GORJA

DOKTORSKI RAD

Mentori:
prof. dr. sc. Neven Voća
prof. dr. sc. Dubravka Dujmović Purgar

Zagreb, 2024.

University of Zagreb
FACULTY OF AGRICULTURE

Anamarija Peter

ENERGY AND FUNCTIONAL VALUE OF ALIEN INVASIVE PLANT SPECIES IN THE ŽUMBERAK HIGHLANDS AREA

DOCTORAL THESIS

Supervisors:
Prof. Neven Voća, PhD
Prof. Dubravka Dujmović Purgar, PhD

Zagreb, 2024.

Bibliografski podaci:

- **Znanstveno područje:** Biotehničke znanosti
- **Znanstveno polje:** Poljoprivreda (agronomija)
- **Znanstvena grana:** Poljoprivredna tehnika i tehnologija
- **Institucija:** Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet
- **Voditelji doktorskog rada:**
  1. Prof. dr. sc. Neven Voća
  2. Prof. dr. sc. Dubravka Dujmović Purgar
- **Broj stranica:** 212
- **Broj slika:** 53
- **Broj Grafikona:** 7
- **Broj tablica:** 13
- **Broj priloga:** 3
- **Broj literaturnih referenci:** 495
- **Datum obrane doktorskog rada:** xx. xx. Xxxx.
- **Sastav povjerenstva za obranu doktorskog rada:**
  1. Izv. prof. dr. sc. Jana Šic Žlabur, Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet
  2. Izv. prof. dr. sc. Nikola Bilandžija Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet
  3. Prof. dr. sc. Božena Mitić, Sveučilište u Zagrebu Prirodoslovno-matematički fakultet

Rad je pohranjen u:
Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu, Ulica Hrvatske bratske zajednice 4 p.p. 550, 10 000 Zagreb
Knjižnici Sveučilišta u Zagrebu Agronomskog fakulteta, Svetošimunska cesta 25, 10 000 Zagreb.

Tema rada prihvaćena je na 12. redovitoj sjednici Fakultetskog vijeća Sveučilišta u Zagrebu Agronomskog fakulteta, održanoj 8. rujna 2020. te odobrena na 2. redovitoj elektroničkoj sjednici Senata Sveučilišta u Zagrebu, održanoj 10. studenoga 2020.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

IZJAVA O IZVORNOSTI

Ja, **Anamarija Peter**, izjavljujem da sam samostalno izradila doktorski rad pod naslovom:

ENERGETSKA I FUNKCIONALNA VRIJEDNOST STRANIH INVAZIVNIH BILJNIH VRSTA NA PODRUČJU ŽUMBERAČKOG GORJA

Svojim potpisom jamčim:

- da sam jedina autorica ovoga doktorskog rada;
- da je doktorski rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u izradi istoga nisam koristila drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni;
- da sam upoznata s odredbama Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu (Čl. 19).

Zagreb, ___. ___. 2024. godine

Potpis doktorandice

Ocjena doktorskog rada

Doktorski rad je obranjen na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, _____ pred povjerenstvom u sastavu:

1. Izv.prof.dr.sc. Jana Šic Žlabur
Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet

_____

2. Izv. prof. dr. sc. Nikola Bilandžija
Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet

_____

3. Prof.dr.sc. Božena Mitić,
Sveučilište u Zagrebu Prirodoslovno - matematički fakultet

_____

Mentori:
Prof. dr. sc. Neven Voća

Neven Voća, redoviti je profesor u trajnom zvanju na Zavodu za održive tehnologije i obnovljive izvore energije pri Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Rođen je 10. travnja 1973. u Zagrebu, gdje je završio osnovnu i srednju školu, a na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu je diplomirao 1997. godine. Zapošljava se 1999. godine na Agronomskom fakultetu u Zagrebu na kojem iste godine upisuje poslijediplomski studij kojeg završava 2003. godine obranom magistarskog rada naslova "Agrarni modeli proizvodnje biodizelskoga goriva". Doktorski rad pod naslovom: "Utjecaj uparavanja na fizikalno-kemijska svojstva zrna kukuruza u procesu proizvodnje etanola", obranio je 2007. godine na istom fakultetu.
Njegovi temeljni znanstveni interesi vezani su uz obnovljive izvore energije, biomasu i biogoriva, gospodarenje otpadom te posliježetvene tehnologije. Kao autor i koautor objavio je preko 250 znanstvenih i stručnih radova iz područja poljoprivredne tehnologije, proizvodnje biogoriva i gospodarenja otpadom. Znanstveno se usavršavao na Scoula di Management Gorizia u Italiji (1999) te na Kansas State University u SAD-u (2003). Bio je mentor obranjenih 5 doktorskih te 65 diplomskih i završnih radova.
Kao koautor napisao je poglavlje "Tehnologije vaganja" u knjizi "Priručnik o proizvodnji i upotrebi stočne hrane-krme" te je koautor sveučilišnih priručnika "Pojmovnik bioplina", "Uzgoj i korištenje Miskantusa", "Tehnologija uzgoja, dorade i skladištenja energetske kulture *Sida hermaphrodita* (L.) Rusby" i "Iskoristivost posliježetvenih ostataka za proizvodnju zelene energije".
Vodio je četiri međunarodna projekta i to bilateralni znanstveni projekt između Hrvatske i Srbije "Mogućnosti proizvodnje peleta za energiju iz vinske komine i komine masline" (2011-2012), Eureka znanstveni projekt "UMEG – Utilization of marc for energy generation" (2006-2010), WP unutar projekta Erasmus+ „Zero waste education initiative: Educating Future Waste Citizens (2016-2020) i projekt Erasmus+ "Zero food waste education of "Z" generation of European citizens" (2021-2024). Vodio je domaći VIP projekt Ministarstva poljoprivrede, ribarstva i ruralnog razvoja RH "Korištenje vinske komine u svrhu proizvodnje toplinske energije" (2008-2010) i znanstveni projekt Hrvatske zaklade za znanost "Zbrinjavanje mulja kroz proizvodnju energetskih kultura" (2018-2022). Uz to kao suradnik sudjelovao je u provedbi 17 znanstvenih i stručnih projekta na Agronomskom fakultetu.
Bio je vanjski član Odbora za zaštitu okoliša Hrvatskog sabora (2008-2011), znanstveni tajnik Znanstvenog vijeća za zaštitu prirode HAZU (2011-2015), ravnatelj Agencije za zaštitu okoliša (2012-2015), član Upravnog vijeća Europske agencije za okoliš (2012-2015) i član Upravnog odbora Fonda za zaštitu okoliša i energetsku učinkovitost (2018-2024).

Mentori:
Prof. dr. sc. Dubravka Dujmović Purgar

Dubravka Dujmović Purgar rođena je 1972. godine u Zagrebu gdje je završila osnovnu i srednju školu. Diplomirala je na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu (AFZ) studij Vrtlarstva i oblikovanja pejzaža 1998. godine. Magistarski rad iz područja prirodnih znanosti, znanstvenog polja biologija - smjer ekologija, naslova "Korovna flora Plešivičkog prigorja", obranila je na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu 2006. godine. Disertaciju iz područja biotehničkih znanosti, znanstvenog polja poljoprivrede – grana ekologija i zaštita okoliša, naslova „Morfološka i molekularna raznolikost lokalnih populacija crvene djeteline (Trifolium pratense L.) u odnosu na ekogeografske karakteristike staništa", obranila je na AFZ 2011. godine.
Na Zavodu za poljoprivrednu botaniku AFZ zaposlena je od 02.11.1999. godine Trenutno je predstojnica Zavoda za poljoprivrednu botaniku na AFZ. Osmislila je program Botaničke grupe i postala voditeljica ove izvannastavne aktivnosti koja se studentima upisuje u dodatak diplome. Dosad je bila mentorica 20 diplomskih radova, te deset završnih radova, a sudjelovala je u izradi više od 230 diplomskih ili završnih radova. U koautorstvu sa studentima objavila je osam znanstvenih radova ili sažetaka na znanstvenim simpozijima.
Temeljni znanstveni interesi vezani su joj uz botaniku, istraživanja flore, morfološke i molekularne raznolikosti lokalnih populacija različitih biljnih vrsta, te istraživanja samoniklog, kultiviranog, ukrasnog i invazivnog bilja. Znanstveno je bila uključena na znanstvenim projektima Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa RH: „Genetska varijabilnost crvene djeteline i tolerantnost na abiotske stresove", „Bioraznolikost populacija samoniklog voća u Hrvatskoj", te projektima Hrvatske zaklade za znanost „Utvrđivanje genskih skupova i divergentnost lokalnih populacija crvene djeteline u odnosu na komercijalne kultivare" i Taksonomija, ekologija i upotreba rogača (Ceratonia siliqua L.) i lovora (Laurus nobilis L.) u Hrvatskoj". Sudjelovala je i u VIP projektima Ministarstva poljoprivrede i šumarstva RH, te na međunarodnom TEMPUS projektu „AHEAD", Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa RH, koji se bavio unapređenjem nastave. Od 2007. do 2012. godine, te od 2017. godine do danas sudjeluje u radu radne grupe „Krmno bilje" u „Nacionalnom programu za očuvanje i održivu uporabu biljnih genetskih izvora za hranu i poljoprivredu u Republici Hrvatskoj" pri Ministarstvu poljoprivrede. Koordinatorica je za AFZ na projektu LIFE OrnamentalIAS (Prevention and management of adverse impact of ornamental invasive alien plant species on endangered habitat types and species of EU importance) koji će uz suradnju deset partnera iz Slovenije i Hrvatske trajati od 01.10.2023. do 31.09.2029. Članica je Hrvatskog botaničkog društva, Hrvatskog ekološkog društva i Hrvatskog društva za jagodasto voće.
Kao autorica ili koautorica ukupno je objavila pedeset (50) znanstvenih radova. Od toga je devet (9) radova objavila kao autorica ili koautorica iz skupine a1, a dvadeset i pet (25) radova iz skupine a2. Pristupnica je također objavila šesnaest (16) znanstvenih radova registrirana u a3 skupini koji su ujedno i dokaz njezinog sudjelovanja na međunarodnim znanstvenim skupovima. Pristupnica je 2008. godine dobila nagradu Mađarske akademije znanosti.
Služi se engleskim i njemačkim jezikom u govoru i pismu.

Ovaj doktorski rad financirala je Hrvatska zaklada za znanost u okviru projekta „Projekt razvoja karijera mladih istraživača – izobrazba novih doktora znanosti“ uz su-financiranje od strane Europske unije, u okviru OP „Učinkoviti ljudski potencijali 2014-2020“ iz sredstava ESF-a (DOK-2018-01); pod stručnim vodstvom prof. dr. sc. Nevena Voće.

Zahvala

Sažetak

Invazivne biljne vrste sve su vidljivija prijetnja kako sa zdravstvenog tako i s ekološkog i ekonomskog aspekta. Ove vrste karakterizira laka prilagodljivost širokom arealu ekoloških čimbenika životnih staništa, izraženo zaraštavanje čime postaju dominantne nad nativnim vrstama, kao i specifičan sastav fitokemikalija. Svime navedenim, invazivne biljne vrste izgledna su prijetnja bioraznolikosti. U svijetu, pa tako i u Hrvatskoj sve veće površine kopnenih staništa, od šumskih do kultiviranih i ne kultiviranih površina pod pritiskom su invazivnih biljnih vrsta što dovodi do značajne destabilizacije ekosustava, a čime se postavlja potreba za uvođenjem mjera njihova suzbijanja i uklanjanja. No, s druge strane, s obzirom na karakteristiku invazivnosti, ove biljne vrste značajan su izvor biomase koja pokazuje potencijal daljnjeg korištenja. Naime, istraživanja dokazuju potencijal njihova korištenja kao obnovljivog izvora energije u procesima termo-kemijske oporabe i proizvodnje energije. Istovremeno, s obzirom na bogat sadržaj specifičnih fitonutrijenata, invazivne biljne vrste imaju i značajan potencijal u proizvodnji proizvoda dodane vrijednosti u npr. farmaceutskoj, kozmetičkoj, tekstilnoj industriji i dr. Svime navedenim, invazivne biljne vrste ukoliko se adekvatno koriste mogu biti prilika, a ne prijetnja biogospodarstvu i to kao vrijedan izvor zelene energije i fitonutrijenata.

Cilj ovog istraživanja bio je identificirati invazivne biljne vrsta s područja Žumberačkog gorja, utvrditi energetski sastav i sadržaj fitonutrijenata vrsta te odrediti potencijalni način njihova korištenja. Istraživanje je uključivalo inventarizaciju flore prilikom čega su na 24 mikrolokacije ukupno determinirane 194 biljne vrste, a od kojih je prikupljeno i analizirano ukupno 12 iz kategorije invazivnih: tri drvenaste vrste (*Ailanthus altissima*, *Rhus typhina* i *Robinia pseudoacacia*) te devet zeljastih vrsta (*Abutilon theophrasti*, *Amaranthus retroflexus*, *Ambrosia artemisiifolia*, *Datura stramonium*, *Erigeron annuus*, *Galinsoga ciliata*, *Reynoutria japonica*, *Solidago gigantea* i *Sorghum halepense*). Prosječno viši sadržaj svih fitonutrijenata (askorbinske kiseline, polifenolnih i fotosintetskih spojeva) te antioksidacijskog kapaciteta utvrđen je kod drvenastih invazivnih vrsta u odnosu na zeljaste. Vrsta *Rhus typhina* tako se izdvaja s najvišim sadržajem askorbinske kiseline (159,69 mg/100 g sv.t.) i ukupnih polifenola (2263,53 mg GAE/100 g sv.t.) od svih ostalih istraživanih vrsta. Nadalje, sve istraživane invazivne vrste ističu se i visokim antioksidacijskim kapacitetom i to drvenaste s prosječnom vrijednosti od 2150,48 μmol TE/L, dok zeljaste prosječno s 2002,90 μmol TE/L. Valja naglasiti kako kemijski profil istraživanih invazivnih vrsta značajno varira, a neovisno o podjeli na drvenaste i zeljaste vrste, visok funkcionalni potencijal pokazuju slijedeće: *Ailanthus altissima*, *Amaranthus retroflexus*, *Erigeron annuus*, *Rhus typhina* i *Robinia pseudoacacia*. Iz energetskog aspekta, drvenaste invazivne vrste ističu se višom energetskom vrijednošću s obzirom na viši udio: suhe tvari, vlakana, od kojih najviše lignina, fiksiranog ugljika i više ogrjevne vrijednosti te niže količine makro i mikroelemenata te teških metala u odnosu na zeljaste. Takve vrste poželjne su za proizvodnju energije izravnim izgaranjem, od kojih su se u ovom istraživanju posebno istaknule vrste *Ailanthus altissima* i *Robinia pseudoacacia*. Zeljaste invazivne vrste zbog prvenstveno visokog sadržaja vode i niskog udjela lignocelulozni vlakana te niske ogrjevne vrijednosti imaju veći potencijal za proizvodnju bioplina postupkom anaerobne digestije, bioetanola fermentacijom ili u hidrotermalnim procesima, a posebice se izdvajaju vrste *Amaranthus retroflexus* i *Ambrosia artemisiifolia*.

Rezultati ovog istraživanja pružaju uvid u funkcionalnu i energetsku vrijednost istraživanih invazivnih biljnih vrsta te naglašavaju značajan potencijal ovih vrsta za proizvodnju zelene energije i fitonutrijenata široke primjene. Valorizacija biomase invazivnih vrsta ključan je segment u procjeni vrijednosti takve biomase, a s obzirom na krajnju upotrebu, u industriji proizvodnje energije ili proizvoda dodane vrijednosti. Takav pristup osigurava održiv odgovor na problem upravljanja i zbrinjavanja invazivnim biljnim vrstama kroz model kružnog biogospodarstva.

Ključne riječi: alohtone vrste, biomasa, zelena energija, ogrjevna vrijednost, specijalizirani metaboliti, antioksidacijski kapacitet

Extended summary

Energy and Functional Value of Alien Invasive Plant Species in the Žumberak Highlands Area

Invasive plant species pose an increasing threat to human health, ecology and the economy. These species are characterised by an unprecedented adaptability to various ecological conditions, including those that are detrimental to other species, pronounced successional behavior that renders them dominant over native species, and a distinctive array of phytochemicals with significant allelopathic properties. Consequently, invasive plant species significantly threaten biodiversity. Globally, including in Croatia, various terrestrial habitats - such as forests, agricultural and non-agricultural areas, areas with weedy and ruderal vegetation, industrial sites, and urban green spaces - are increasingly threatened by invasive plant species. This leads to considerable destabilisation of ecosystems, necessitating the implementation of measures for their suppression and eradication. On the other hand, due to their invasiveness, these plant species represent an important source of biomass with potential energy and functional applications. Various research show their potential as a renewable energy source in processes for the thermal utilisation of biomass and for energy generation. These processes include direct combustion (heat, steam, electricity), pyrolysis (biochar, bio-oil, biogas), gasification (synthetic gas, heat, electricity), anaerobic digestion (biogas - methane, electricity, heat), fermentation (bioethanol), torrefaction (torrefied biomass), hydrothermal carbonisation and liquefaction (hydrothermal coal; biogas - methane or hydrogen, biocrude - liquid, fuel similar to crude oil). At the same time, invasive plant species possess considerable potential for the production of value-added products in areas such as pharmaceuticals, cosmetics, textiles, etc. due to their high content of specific, specialised metabolites. If utilised effectively, invasive plant species can represent an opportunity rather than a threat, as they could make a significant contribution to the share of renewable energy and contain new or significant amounts of natural phytonutrients.
The aim of this study was to identify invasive plant species in the Žumberak highlands area that have sufficient biomass and to determine the energy composition and phytonutrient content of the species as well as a possible way of their utilisation and further use. The study included a flora inventory in which 194 plant species were identified at 24 sampling microlocations. Of these, 12 invasive species were collected and analysed, comprising three woody species (*Ailanthus altissima*, *Rhus typhina* i *Robinia pseudoacacia*) and nine herbaceous species (*Abutilon theophrasti*, *Amaranthus retroflexus*, *Ambrosia artemisiifolia*, *Datura stramonium*, *Erigeron annuus*, *Galinsoga ciliata*, *Reynoutria japonica*, *Solidago gigantea* i *Sorghum halepense*). After sampling, all samples were were prepared for further analysis. Only the leaves of the collected invasive plant species were used to determine the functional value, while the entire collected, dried and ground biomass was used to determine the energy value. The functional value was determined using standard methods, while the analysis included dry matter content, L-ascorbic acid content, spectrophotometric total phenolic compound content, total flavonoid content, non-flavonoid content, pigment concentration (total chlorophyll and carotenoids) and antioxidant capacity determined using the ABTS method. To determine the energy value and the potential of the biomass for direct combustion processes, the biomass was analysed using standard methods. Dry matter, ash content, coke, fixed carbon, volatile matter, carbon, hydrogen, oxygen, nitrogen and sulphur were determined, lignocellulosic fibres, macroelements (Ca, K, Mg, Na), microelements (Fe, Zn, Cu, Mn, Co, Mo, Ni), heavy metals (Pb, Cr, Cd, Hg) and heating value were determined. The woody invasive species exhibited a higher average content of all specialised metabolites (L-ascorbic acid content, total phenolic, flavonoid and non-flavonoid content, pigment concentration) and a higher antioxidant capacity compared to the herbaceous species. However, when functional value is the focus of research, it is justified to study a single species in relation to a specific specialised metabolite. Accordingly, the woody species *Rhus typhina* has the highest concentrations of L-ascorbic acid content (159.69

mg/100 g sv.t), total phenolic compound content (2263.53 mg GAE/100 g sv.t) and total non-flavonoid content (2006.23 mg GAE/100 g sv.t) in this study, while the woody species *Robinia pseudoacacia* has the highest value of total flavonoid content (1159.13 mg GAE/100 g sv.t). While the mean concentrations of pigment compounds in woody species are 8-16 % higher than in herbaceous species, the highest concentrations of pigment compounds were found in the herbaceous species *Galinsoga ciliata* for chlorophyll A content (1.05 mg/g) and total chlorophyll content (1.81 mg/g), in the herbaceous species *Solidago gigantea* for chlorophyll B content (0.92 mg/g) and in the herbaceous *species Amaranthus retroflexus* for total carotenoids content (0.26 mg/g). The mean antioxidant capacity for the woody invasive plant species is about 7 % higher than for the herbaceous species; however, the highest antioxidant capacity was found for the herbaceous species *Amaranthus retroflexus* (2221.97 µmol TE/L). Consequently, the woody species *Rhus typhina* and *Robinia pseudoacacia* together with the herbaceous species *Amaranthus retroflexus*, *Galinsoga ciliata* and *Solidago gigantea* can be identified as promising sources of certain specialised metabolites for the pharmaceutical, cosmetic and textile industries, among others.

When evaluating the energy values of the biomass of invasive plant species, it is crucial to consider the full range of energy value parameters of each biomass species, as together they influence the heating value, which is the most significant factor in the evaluation of biomass for potential direct combustion applications. From the observed properties, it can be concluded that those species are desirable for the direct combustion process that have the highest concentrations of dry matter (*Rhus typhina, Robinia pseudoacacia*), fixed carbon (*Erigeron annuus*), carbon (*Rhus typhina*), hydrogen (*Robinia pseudoacacia*) and structural fibres (*Ailanthus altissima, Robinia pseudoacacia, Erigeron annuus*), while they have low levels of ash content (*Ailanthus altissima, Robinia pseudoacacia*), oxygen content (*Rhus typhina, Robinia pseudoacacia*) and other components such as macro- and microelements and heavy metals (*Ailanthus altissima, Rhus typhina, Robinia pseudoacacia*), which positively influence the heating value. The woody invasive species analysed in this study have, on average, higher total energy properties than herbaceous species when evaluated using a parameter that integrates most of the components affecting the energy value of the raw material. This study found that woody invasive plant species have around 12 % higher heating values compared to herbaceous species. It can be concluded that woody species such as *Ailanthus altissima* and *Robinia pseudoacacia* are best suited for energy production through direct combustion. Herbaceous invasive plant species have a greater potential for biogas production by anaerobic digestion, bioethanol production by fermentation or hydrothermal processes due to their high water content and low heating value, with particular emphasis on the species *Amaranthus retroflexus* and *Ambrosia artemisiifolia.*

This study highlights the considerable energetic and functional potential of the invasive plant species investigated and expands the existing knowledge about the possibilities of their use. These results serve as a basis for further research into the possible utilisation and further application of invasive plant species. They show that significant opportunities lie in the valorisation of the biomass of invasive plant species for the production of green energy and phytonutrients as value-added products across various industries, offering a sustainable solution to the problem of invasive plant species through a circular bioeconomy model. It is recommended that future research should focus on the development of advanced models to predict the properties of biomass and optimise their application through alternative utilisation methods. Special emphasis should be placed on an interdisciplinary approach that incorporates machine learning and regression analysis methods and takes into account the influence of climatic conditions and environmental factors. This would ensure greater efficiency of biomass utilisation in the bioeconomy with a focus on sustainability and environmental protection.

Key words: non-native species, biomass, renewable energy, heating value, specialized metabolites, antioxidant capacity

Sadržaj

1. UVOD 1

1.1. Ciljevi i hipoteze istraživanja 4

2. PREGLED LITERATURE 5

2.1. Invazivne biljne vrste 5

2.1.1. Pregled stanja rasprostranjenosti invazivnih biljnih vrsta u Hrvatskoj 11

2.1.2. Razlike između drvenastih i zeljastih invazivnih biljnih vrsta 13

2.1.3. Metode uklanjanja invazivnih biljnih vrsta 14

2.2. Biljna biomasa kao obnovljiv izvor energije 15

2.3. Mogućnosti korištenja biomase invazivnih biljnih vrsta 18

2.3.1. Funkcionalna vrijednost biomase invazivnih biljnih vrsta 19

2.3.2. Energetska vrijednost biomase invazivnih biljnih vrsta 24

3. MATERIJALI I METODE RADA 36

3.1. Biljni materijal 36

3.1.1. Područje istraživanja 36

3.1.2. Odabir biljnog materijala 37

3.1.3. Inventarizacija i prikupljanje biljnog materijala 39

3.1.4. Drvenaste invazivne biljne vrste 44

3.1.5. Zeljaste invazivne biljne vrste 48

3.2. Priprema biljnog materijala za analize energetske i funkcionalne vrijednosti 64

3.3. Metode određivanja funkcionalne vrijednosti biljnog materijala 65

3.3.1. Sadržaj suhe tvari lista 65

3.3.2. Određivanje sadržaja L-askorbinske kiseline 66

3.3.3. Određivanje sadržaja ukupnih fenola 67

3.3.4. Određivanje sadržaja ukupnih flavonoida i neflavonoida 69

3.3.5. Određivanje sadržaja fotosintetskih pigmenata (klorofil-a, klorofil-b, ukupni klorofili i ukupni karotenoidi) 69

3.3.6. Antioksidacijska aktivnost 71

3.4. Metode određivanja energetske vrijednosti biljnog materijala 73

3.4.1. Sadržaj suhe tvari nadzemne biomase 73

3.4.2. Određivanje sadržaja pepela 73

3.4.3. Određivanje sadržaja koksa 74

3.4.4. Određivanje sadržaja fiksiranog ugljika i hlapljivih tvari 75

3.4.5. Sadržaj ugljika (C), vodika (H), dušika (N), sumpora (S) i kisika (O) - elementarni sastav 76

3.4.6. Određivanje strukturalnog sastava 77

3.4.7. Određivanje makro i mikro elemenata, teških metala 80

3.4.8. Određivanje ogrjevne vrijednosti 81

3.5. Statistička analiza podataka 81

4. METEOROLOŠKI PODACI ISTRAŽIVANOG PODRUČJA 84

5. REZULTATI 87

5.1. Inventarizacija stranih invazivnih biljnih vrsta 87

5.2. Funkcionalna vrijednost istraživanih stranih invazivnih biljnih vrsta 91

5.2.1. Sadržaj suhe tvari svježeg lista invazivnih biljnih vrsta 92

5.2.2. Askorbinska kiselina, polifenolni spojevi i antioksidacijski kapacitet 92

5.2.3. Fotosintetski pigmenti 96

5.3. Energetska vrijednost istraživanih stranih invazivnih biljnih vrsta 99

5.3.1. Gorive tvari 99

5.3.2. Negorive tvari 102

5.3.3. Strukturni (lignocelulozni) sastav 104

5.3.4. Makro i mikro elementi, teški metali 106

5.3.5. Ogrjevna vrijednost 112

5.4. Korelacije funkcionalne i energetske vrijednosti invazivnih biljnih vrsta 115

5.4.1. Korelacije funkcionalne vrijednosti i gorivih tvari kod drvenastih i kod zeljastih invazivnih biljnih vrsta 116

5.4.2. Korelacije funkcionalne vrijednosti i negorivih tvari kod drvenastih i kod zeljastih invazivnih biljnih vrsta 118

5.4.3. Korelacije funkcionalne vrijednosti i lignoceluloznog sastava kod drvenastih i kod zeljastih invazivnih biljnih vrsta 120

5.4.4. Korelacije funkcionalne vrijednosti i makroelemenata kod drvenastih i kod zeljastih invazivnih biljnih vrsta 122

5.4.5. Korelacije funkcionalne vrijednosti sa mikroelementima i teškim metalima kod drvenastih i kod zeljastih invazivnih biljnih vrsta 124

5.4.6. Korelacije funkcionalne vrijednosti i ogrjevnih vrijednosti kod drvenastih i kod zeljastih invazivnih biljnih vrsta 126

6. RASPRAVA 128

6.1. Inventarizacija 128

6.2. Funkcionalna vrijednost invazivnih biljnih vrsta 131

6.2.1. Sadržaj suhe tvari lista istraživanih invazivnih biljnih vrsta 131

6.2.2. Fitonutrijenti i antioksidacijski kapacitet invazivnih biljnih vrsta 133

6.2.3. Sadržaj polifenolnih spojeva istraživanih invazivnih biljnih vrsta 135

6.2.4. Sadržaj fotosintetskih pigmenata istraživanih invazivnih biljnih vrsta 137

6.2.5. Antioksidacijska aktivnost invazivnih biljnih vrsta 139

6.3. Energetska vrijednost invazivnih biljnih vrsta 141

6.3.1. Gorive tvari 141

6.3.2. Negorive tvari 147

7.3.3. Strukturni (lignocelulozni) sastav 151

7.3.4. Makro i mikro elementi, teški metali 154

7.3.5. Ogrjevna vrijednost 157

7. ZAKLJUČAK 160

8. POPIS LITERATURE 162

9. ŽIVOTOPIS 191

10. POPIS PRILOGA 195

Popis kratica

AAS – atomska apsorpcijska spektrometrija
ABTS – antioksidacijski kapacitet određen metodom ABTS - radical cation decolorization assay
Abu – *Abutilon theophrasti* Medik.
ADF – kisela vlakna
ADL – kiseli lignin
Ail – *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle
ALS - inihibitor acetolaktat sintaze
Ama – *Amaranthus retroflexus* L.
Amb – *Ambrosia artemisiifolia* L.
ANOVA – ANalysis Of VAriance, Analiza varijance
AsA - askorbinska kiselina
CaU – ukupni karotenoidi
CEL – celuloza
CF – fiksirani ugljik
ChA – klorofil A
ChB – klorofil B
ChU – ukupni klorofili
CUPRAC - antioksidacijski kapacitet određen metodom CUPRAC - Cupric Ion Reducing Antioxidant Capacity
Dat – *Datura stramonium* L.
DHA – dehidroaskorbat
DPPH - antioksidacijski kapacitet određen metodom DPPH - 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl
Eri – *Erigeron annuus* (L.) Pers.
FCD - baza podataka „Flora Croatica Database“ (samostalna baza podataka koja sadrži skup prostornih i atributnih podataka o opažanjima vrsta vaskularne flore na području Republike Hrvatske prikupljenih i analiziranih kroz različite projekte i istraživanja)
FRAP - antioksidacijski kapacitet određen metodom FRAP - Ferric Reducing Ability Plasma
GAE – ekvivalent galne kiseline
Gal – *Galinsoga ciliata* (Raf.) S. F. Blake
GIS – geografski informacijski sustav
GPS – globalni položajni sustav
GuLO – enzim glukonolakton oksidaze
HAOP - Hrvatska agencija za okoliš i prirodu
HEM – hemiceluloza

HHV – gornja ogrjevna vrijednost

HSD – Honestly Significant Differences, Tukey post hoc HSD test signifikantnih razlika

HT – hlapljive tvari

IUCN - Međunarodna unija za očuvanje prirode (*eng., International Union for Conservation of Nature*)

JU – Javna ustanova

KO – koks

LHV – donja ogrjevna vrijednost

LIG – lignin

MTB – Meβtischblätter (mreža podijeljena na jedinice 1,5x1,45 km (MTB 1/64), prema predloženom nacionalnom standardu)

NDF – neutralna vlakna

PCA – principal component analysis, analiza glavnih komponenta

PE – pepeo

PPO - inhibitor protoporfirinogen oksidaze

Rey – *Reynoutria japonica* Houtt.

RH - Republika Hrvatska

Rhu – *Rhus typhina* L.

Rob – *Robinia pseudoacacia* L.

SAD - Sjedinjene Američke Države

SDG - Globalni ciljevi održivog razvoja (*eng., Sustainable Development Goals*)

Sol – *Solidago gigantea* Aiton

Sor – *Sorghum halepense* (L.) Pers

ST – suha tvar nadzemne biomase

STL – suha tvar lista

TCD – termokonduktivni detektor

TEAC - antioksidacijski kapacitet određen metodom TEAC - Trolox Equivalent Antioxidant Capacity

TRAP - antioksidacijski kapacitet određen metodom TRAP - Total Radical Trapping Antioxidant Parameter

UF – ukupni flavonoidi

UNF – ukupni neflavonoidi

UPH – ukupni fenolni spojevi

ZAGR – herbarij Sveučilišta u Zagrebu Agronomskog fakulteta

Popis slika

Slika 1. Utjecaj invazivnih biljnih vrsta; prikaz vrste vezanih troškova i pogođenih sektora
Slika 2. Karta rasprostranjenosti invazivnih alohtonih biljnih vrsta na području Hrvatske 2013. i 2024. godine.
Slika 3. Proširenо područje istraživanja
Slika 4. Baza „Flora Croatica Database“
Slika 5. Primjer sustavne inventarizacije Parka prirode Žumberak-Samoborsko gorje iz 2018. godine
Slika 6 Vizualizacija područja prikupljanja istraživanih invazivnih biljnih vrsta
Slika 7. Područje istraživanja s mikrolokacijama prikupljenih vrsta prema GPS koordinatama (izvor: KARTA: ESRI 2021. ArcGIS Pro 2.8.1.: Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute; ANALIZA: QGIS Development Team 2020. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. http://qgis.osgeo.org; Bioportal – MTB64. Bioportal – Zaštićena područja - poligoni.
Slika 8. Žljezdasti pajasen - lijevo gore; rasprostranjenost na području HR - desno; rasprostranjenost u svijetu – lijevo dolje
Slika 9. Ruj - lijevo gore; rasprostranjenost na području HR – desno; rasprostranjenost u svijetu – lijevo dolje
Slika 10. Bagrem - lijevo gore; rasprostranjenost na području HR - desno; rasprostranjenost u svijetu – lijevo dolje
Slika 11. Teofrastov mračnjak - lijevo gore; rasprostranjenost na području HR - desno; rasprostranjenost u svijetu – lijevo dolje
Slika 12. Oštrodlakavi šćir - lijevo gore; rasprostranjenost na području HR – desno; rasprostranjenost u svijetu – lijevo dolje
Slika 13. Ambrozija - lijevo gore; rasprostranjenost na području HR - desno; rasprostranjenost u svijetu – lijevo dolje
Slika 14. Datura - lijevo gore; rasprostranjenost na području HR - desno; rasprostranjenost u svijetu – lijevo dolje
Slika 15. Jednogodišnja krasolika - lijevo gore; rasprostranjenost na području HR - desno; rasprostranjenost u svijetu – lijevo dolje
Slika 16. Trepavičava konica - lijevo gore; rasprostranjenost na području HR - desno; rasprostranjenost u svijetu – lijevo dolje
Slika 17. Japanski dvornik - lijevo gore; rasprostranjenost na području HR - desno; rasprostranjenost u svijetu – lijevo dolje
Slika 18. Velika zlatnica - lijevo gore; rasprostranjenost na području HR - desno; rasprostranjenost u svijetu – lijevo dolje

Slika 19. Piramidalni sirak - lijevo gore; rasprostranjenost na području HR – desno; rasprostranjenost u svijetu – lijevo dolje
Slika 20. Odvajanje lišća za potrebe kemijskih analiza fitonutrijenata
Slika 21. Određivanje L-askorbinske kiseline (vitamina C) invazivnih biljnih vrsta (kvantitativno prebacivanje uzorka - lijevo; filtriranje - sredina; titracija - desno)
Slika 22. Baždarni pravac koncentracije galne kiseline
Slika 23. Ekstrakcija fenola
Slika 24. Priprema uzoraka za određivanje fotosintetskih pigmenata
Slika 25. Baždarni pravac koncentracije Troloxa
Slika 26. Određivanje sadržaja suhe tvari; uzorci prije analize (lijevo), uzorci u sušnici (desno)
Slika 27. Određivanje sadržaja pepela; uzorci prije analize (lijevo), analize pepela u mufolnoj peći (sredina), uzorci nakon analize (desno)
Slika 28. Analiza koksa (lijevo), uzorci prije i nakon analize (desno)
Slika 29. CHNS Vario Macro Elemental analizator
Slika 30. Priprema uzoraka za analizu CHNS
Slika 31. Analiza mikro i makro elemenata na AAS
Slika 32. Mjerne stanice Državnog hidrometeorološkog zavoda za područje istraživanja
Slika 33. Vizualizacija procijene zastupljenosti istraživanih invazivnih biljnih vrsta na mikrolokacijama istraživačkog područja
Slika 34. PCA analiza bioaktivnih spojeva invazivnih biljnih vrsta
Slika 35. PCA analiza fotosintetskih pigmenata stranih invazivnih biljnih vrsta
Slika 36. PCA analiza gorivih tvari istraženih vrsta
Slika 37. PCA analiza negorivih tvari istraženih vrsta
Slika 38. PCA analiza strukturnog / lignoceluloznog sastava invazivnih biljnih vrsta
Slika 39. PCA analiza makroelemenata u biomasi invazivnih biljnih vrsta
Slika 40. PCA analiza ostalih mikroelemenata i teških metala u biomasi invazivnih biljnih vrsta
Slika 41. PCA analiza ogrjevnih vrijednosti biomase uzoraka invazivnih biljnih vrsta
Slika 42. Korelacije parametara funkcionalne vrijednosti i gorivih tvari drvenastih invazivnih biljnih vrsta (nd=3)
Slika 43. Korelacije funkcionalne vrijednosti i gorivih tvari zeljastih invazivnih biljnih vrsta (nz=9)
Slika 44. Korelacije funkcionalne vrijednosti i negorivih tvari drvenastih invazivnih biljnih vrsta (nd=3)
Slika 45. Korelacije funkcionalne i negorivih tvari zeljastih invazivnih biljnih vrsta (nz=9)

Slika 46. Korelacije funkcionalne vrijednosti i lignocelulozno sastava drvenastih invazivnih biljnih vrsta (nd=3)
Slika 47. Korelacije funkcionalne vrijednosti i lignocelulozno sastava zeljastih invazivnih biljnih vrsta (nz=9)
Slika 48. Korelacije funkcionalne vrijednosti i makroelemenata kod drvenastih invazivnih biljnih vrsta (nd=3)
Slika 49. Korelacije funkcionalne vrijednosti i makroelemenata kod zeljastih invazivnih biljnih vrsta (nz=9)
Slika 50. Korelacije funkcionalne vrijednosti sa mikroelementima i teškim metalima kod drvenastih invazivnih biljnih vrsta (nd=3)
Slika 51. Korelacije funkcionalne vrijednosti sa mikroelementima i teškim metalima kod zeljastih invazivnih biljnih vrsta (nz=9)
Slika 52. Korelacije funkcionalne vrijednosti i ogrjevnih vrijednosti drvenastih invazivnih biljnih vrsta (nd=3)
Slika 53. Korelacije funkcionalne vrijednosti i ogrjevnih vrijednosti zeljastih invazivnih biljnih vrsta (nz=9)

Popis tablica

Tablica 1. GPS koordinate i tip tla prikupljenih invazivnih biljnih vrsta na području Žumberka
Tablica 2. Životni oblici samonikle flore
Tablica 3. Trajanje života samonikle flore
Tablica 4. Florni elementi samonikle flore
Tablica 5. Životni oblici, trajanje života i florni elementi prikupljenih invazivnih biljnih vrsta.
Tablica 6. Sadržaj askorbinske kiseline, polifenolnih spojeva i antioksidacijskog kapaciteta invazivnih billjnih vrsta
Tablica 7. Sadržaj fotosintetskih pigmenata analiziranih stranih invazivnih biljnih vrsta
Tablica 8. Gorive tvari istraženih invazivih biljnih vrsta
Tablica 9. Negorive tvari istraženih invazivnih biljnih vrsta
Tablica 10. Lignocelulozni sastav biomase invazivnih biljnih vrsta
Tablica 11. Makroelementi (Ca, K, Mg, Na) u biomasi invazivnih biljnih vrsta
Tablica 12. Udio ostalih mikroelemenata i teških metala u biomasi invazivnih biljnih vrsta
Tablica 13. Ogrjevne vrijednosti biomase invazivnih biljnih vrsta

Popis grafikona

Grafikon 1. Srednja dnevna temperatura na području istraživanja
Grafikon 2. Meteorološki podaci relativne vlage na području prikupljanja invazivnih biljnih vrsta
Grafikon 3. Meteorološki podaci količina padalina na područja prikupljanja invazivnih biljnih vrsta
Grafikon 4. Životni oblici cijelokupne flore područja istraživanja
Grafikon 5. Trajanje života cijelokupne flore područja istraživanja
Grafikon 6. Florni elementi cijelokupne flore područja istraživanja
Grafikon 7. Grafički prikaz suhe tvari lista (%) istraživanih stranih invazivnih biljnih vrsta

Popis jednadžba

(a) Suha tvar
(b) L-askorbinska kiselina
(c) Jednadžba baždarnog pravca koncentracije galne kiseline
(d) Klorofil a
(e) Klorofil b
(f) Klorofil a+b
(g) Karotenoidi
(h) Izračun koncentracije pigmenta po mg/g svježe tvari
(i) Jednadžba baždarnog pravca otopine Troloxa, izraženo u µmol TE/L
(j) Jednadžba izračuna fiksiranog ugljika
(k) Jednadžba 1 izračuna hlapljivih tvari
(l) Jednadžba 2 izračuna hlapljivih tvari
(m) Jednadžba izračuna udjela kiselih vlakana
(n) Jednadžba izračuna udjela neutralnih vlakana
(o) Jednadžba izračuna udjela kiselog lignina
(p) Jednadžba izračuna udjela celuloze
(r) Jednadžba izračuna udjela hemiceluloze
(s) Jednadžba izračuna udjela lignina
(t) Jednadžba izračuna donje ogrjevne vrijednosti

Popis priloga

PRILOG I.: Tablica 1. Popis stranih invazivnih biljnih vrsta u Hrvatskoj
PRILOG II.: Tablica 1. Inventarizacija cjelokupne flore mikrolokacija prikupljanja uzoraka
PRILOG III.: Tablica 1-12. Pearsonovih koeficijenata korelacije (r) i p-vrijednosti (+ $p<0.01$; * $p<0.05$; ** $p<0.10$) za analizirane parametre funkcionalne i energetske vrijednosti drvenastih i zeljastih invazivnih biljnih vrsta

1. UVOD

Bioraznolikost je definirana kao raznolikost života u svim njegovim oblicima i to na genskoj, specijskoj i ekosustavnoj razini te njihovim kompleksnim interakcijama (CBD, 2010). Danas gotovo da i ne postoji ekosustav na koji čovjek nije utjecao, zdravlje i stabilnost ekosustava se pogoršava, a promjene na Zemlji koje su se zbivale milijunima godina sada se događaju unutar jednog stoljeća ili čak desetljeća (IPBES, 2019). Fenološke promjene u životnim ciklusima životinjskih i biljnih vrsta), promjene u brojnosti i distribuciji različitih vrsta, sastavu zajednica, strukturi staništa i ostalih procesa ekosustava, promjene u korištenju zemljišta i resursa, samo su neki od primjera izravnih i neizravnih posljedica klimatskih promjena na bioraznolikost (Peace, 2020). Jedan od ključnih čimbenika negativnog utjecaja na bioraznolikost je ljudska djelatnost, odnosno čovjek koji izravno snosi odgovornost za brojne negativne učinke (antropogeni utjecaj) kao što su promjene i uništavanje prirodnih staništa, prekomjerno iskorištavanje staništa, fragmentacija ili potpuni gubitci, onečišćenje zraka, vode i tla, širenje invazivnih vrsta i ostalo. Različite vrste ekosustava s vremenom će sve manje biti otporne i sposobne podnijeti posljedice klimatskih promjena (EK, 2022).

Globalno gledajući smatra se da su upravo strane invazivne biljne vrste jedna od najvećih prijetnja bioraznolikosti, odmah nakon izravnog uništavanja prirodnih staništa (Keller i sur., 2011). Unesene na neko područje izvan njihova prirodnog staništa, kao posljedica namjernog ili nenamjernog djelovanja čovjeka, procesom naturalizacije na novonastanjenom području čine jedno od „velikih pet“ ekoloških pitanja 21. stoljeća (Mitić i sur., 2008; Barney i sur., 2013). Strane invazivne biljne vrste ne nastanjuju sve tipove staništa u jednakoj mjeri, već se češće mogu naći upravo na staništima s velikim antropogenim utjecajem (Vuković, 2015). Globalizacijom, napretkom tehnologije, boljom povezanošću između država i kontinenata (turizam, transport, trgovina) stvorili su se preduvjeti za širenje stranih invazivnih biljnih vrsta na područja gdje nikada nisu niti ne bi bile rasprostranjene prirodnim putevima (Novak i Kravarščan, 2011).

Posljednjih nekoliko godina, sve je veći broj istraživanja usmjeren na analize svojstava invazivnih biljnih vrsta i karakteristike zajednica koje su sklone invaziji te imaju značajan utjecaj na razini vrste, zajednica, ekosustava i dobrobiti ljudi (Vila i sur., 2011; Moravcová i sur., 2015; Gibert i sur., 2016). Utjecaj invazivnih vrsta na određenom području moguće je uočiti kroz plodnost i produktivnost biljne zajednice, bogatstvo i raznolikost vrsta, utjecaj alelopatskih spojeva, istiskivanje autohtonih vrsta, ugroženost pojedinih vrsta i drugo (Duncan i sur., 2014). Klimatske promjene također mogu utjecati na povećanje sposobnosti invazivnih biljnih vrsta opstanku na određenim lokacijama, kao i na kompeticiju s autohtonim vrstama. Također, moguće je uz ekološke (pedološke, klimatološke, botaničke, zoološke, i dr.), sve

češće uočiti njihov utjecaj i na zdravstvene (alergije, trovanja i bolesti) te ekonomske posljedice (poljoprivreda, šumarstvo, turizam, infrastrukturu, ljudsko zdravlje i dr.) (Bradley i sur., 2010). Strane invazivne biljne vrste, uobičajeno vrlo lako nadilaze prepreke prilagodbe novim staništima i ekološkim uvjetima istog, prilikom čega pokazuju sposobnost brze prilagodbe promjenama i šire granice tolerancije ekstremnih uvjeta (Zedler i Kercher, 2004; Blackburn i sur., 2011). Uz migraciju i osvajanje područja koja im više odgovaraju te istovremeno posjedovanje više različitih karakteristika, odnosno mehanizama širenja koji se mogu definirati i kao procesi kompeticije ili alelopatije, vrlo često imaju prednost u osiguravanju svog opstanka pred autohtonim vrstama. Kao posljedica navedenog, realno je očekivati da invazivne biljne vrste postižu veliku brojnost i gustoću u kratkom vremenskom razdoblju te se naturaliziraju (Vuković, 2015). S obzirom kako količina biomase koju tvore, eksponencijalno raste iz godine u godinu, proporcionalno rastu i troškovi nastali njihovim upravljanjem, sprječavanjem širenja te uklanjanjem i njihovim zbrinjavanjem (EK, 2014). Također, poljoprivredni i gospodarski gubici uzrokovani invazivnim biljnim vrstama su relativno visoki (Barokini i Babalola, 2012). Dobrim planiranjem, odgovarajućim tehnikama suzbijanja širenja te zbrinjavanja, moguće je kontrolirati invazivne vrste (Nikolić i sur., 2014). Nažalost, sve postojeće metode imaju ograničen uspjeh, visoke troškove provedbe, mogući štetan utjecaj na okoliš ili u većini slučajeva, zahtijevaju kontinuirano provođenje, a time i kontinuirane financijske troškove (Barokini i Babalola, 2012). Također, važno je naglasiti kako uslijed korištenja neadekvatnih metoda suzbijanja invazivnih biljnih vrsta (posebice ovisno o biljnoj vrsti), postoji mogućnost daljnjeg širenja neželjenih učinaka, kao i daljnje degradacije okoliša (Rinella i sur., 2009). Upravo iz tih razloga, prevencija se smatra najboljom opcijom upravljanja invazivnim biljnim vrstama.

S druge strane, osim nužne potrebe za očuvanjem prirodnih resursa, svijet se danas suočava s još jednim velikim izazovom, osigurati izvor čiste energije za život (UN, 2024). Na globalnoj razini potrebe za energijom u stalnom su porastu, što ujedno podrazumijeva i povećanje korištenja fosilnih goriva, kao još uvijek jednim od najvažnijih izvora za dobivanje energije. No razvojem tehnologije u energetskom sektoru, posebice napretku u tehnologijama za dobivanje energije iz obnovljivih izvora, pruža se sve više mogućnosti šireg korištenja novih izvora energije što uvelike doprinosi ključnom cilju zamjene fosilnih goriva kao primarne energije obnovljivim izvorima energije (Holechek i sur., 2022; Zastempowski, 2023). Brojna istraživanja sugeriraju da postoje uspješne metode i mogućnosti gdje je prevencija širenja invazivnih biljnih vrsta istovremeno postala izvor dohotka ponovnim korištenjem za proizvodnju novih proizvoda dodane vrijednosti poput drvenih predmeta, stočne hrane, sirovine za proizvodnju energije, biougljen, bioplin i drugih (Van Meerbeek i sur., 2015; Baldi i sur., 2022; Ceriani i sur., 2023; Pušić i sur., 2024). Nadalje, brojne su mogućnosti iskorištenja

biomase invazivnih biljnih vrsta u proizvodnji ili ekstrakciji prirodnih spojeva. Sve veći fokus usmjeren je na njihovu potencijalnu funkcionalnu vrijednost s obzirom na značajan sastav specifičnih fitonutrijenata koji pokazuju visok potencijal iskorištenja u visoko specijaliziranih industrijama poput farmaceutske ili kozmetičke (Baldi i sur., 2022; Raudone i Savickiene, 2024). Naime, invazivne biljne vrste s obzirom na svojstva invazivnosti, karakterizira i specifičan sastav fitokemikalija, a prilikom čega se odlikuju visokim sadržajem askorbinske kiseline, polifenolnih spojeva uključujući flavonoide, fenolne kiseline, tanine, lignani i fotosintetske pigmente (klorofili, karotenoidi). Sve spomenute spojeve karakterizira snažno antiokidacijsko djelovanje čime se sirovine takvog specifičnog fitokemijskog profila može smatrati izuzetno potencijalnim za korištenje u proizvodnji proizvoda dodane vrijednosti (npr. lijekova, biosorbenta, nanočestica, biokompozita i aerogelova) (Nguyen i sur., 2022; Kowalczyk i sur., 2024). Upravo zbog navedenog, različite sastavnice biomase postaju zanimljive. Umjesto da se smatra teretom, biomasa stranih invazivnih biljnih vrsta zbog svoje dostupnosti, niske cijene, ekološki prihvatljivih i biorazgradivih karakteristika te praktičnosti primjene u velikim razmjerima pokazuje značajan potencijal za proizvodnju proizvoda dodane vrijednosti.

Čitav ciklus nastanka biomase invazivnih biljnih vrsta do prilika za njihovo daljnje upravljanje, uklanjanje iz prirode ili korištenje, mogu biti primjeri dobre prakse kružnog biogospodarenja. Na taj način u njihovoj kontroli koristio bi se multidisciplinarni pristup kojim bi se osigurala prevencija širenja, primijenile adekvatne metode suzbijanja i upravljanja na pojedinim staništima, a time i pružile nove mogućnosti iskorištenja, oporabe, za proizvodnju novih proizvoda dodane vrijednosti. Ovim istraživanjem identificirane su strane invazivne biljne vrste s područja Žumberka visoke funkcionalne vrijednosti i povoljnog energetskog sastava za dobivanje čiste energije ili proizvoda dodane vrijednosti. Istovremeno, temeljem rezultata analize kvalitete njihove biomase, definirane su smjernice i načini za daljnje korištenje sa svrhom pronalaska praktične, široke primjene biomase stranih invazivnih biljnih vrsta.

1.1. Ciljevi i hipoteze istraživanja

U ovom doktorskom radu postavljeni su sljedeći ciljevi:

1. Identificirati strane invazivne biljne vrste s područja Žumberačkog gorja koje zadovoljavaju uvjete dovoljne količine biomase, visoke funkcionalne vrijednosti i povoljnog energetskog sastava.
2. Utvrditi energetski sastav i fitonutrijente biomase stranih invazivnih biljnih vrsta.
3. Odrediti način korištenja drvenastih i zeljastih stranih invazivnih biljnih vrsta s obzirom na kvalitetu biomase.

Iz postavljenih ciljeva proizlaze sljedeće hipoteze:

1. Moguće je identificirati strane invazivne biljne vrste koje zadovoljavaju kriterije za daljnje korištenje njihove biomase.
2. Drvenaste strane invazivne biljne vrste pokazuju bolja energetska svojstva, a zeljaste imaju veći udio fitonutrijenata.
3. Povoljan energetski sastav u negativnoj je korelaciji s količinom fitonutrijenata.

2. PREGLED LITERATURE

2.1. Invazivne biljne vrste

Prema biološkoj sistematici, vrsta (lat. *species*) se poima kao osnovna taksonomska jedinica koja obuhvaća sve jedinke istog podrijetla, slična izgleda i anatomske građe, koje se mogu međusbono razmnožavati i dati plodno potomtsvo (Sudarić Bogojević, 2018). Vrsta je često opisana i svojim ekološkim konceptom koji vrstu opisuje kao skup organizama uokvirenih resursima o kojima ovise (ekološka niša) (Van Valen 1976). Tako vrste prema području obitavanja često razlikujemo kao zavičajne i strane vrste (Nikolić i sur., 2014). Zavičajna vrsta prirodno obitava u određenom ekosustavu nekog područja te je njihova prirodna rasprostranjenost uvjetovana prirodnim čimbenicima. Stranom vrstom smatra se svaka vrsta koja prirodno nije rasprostranjena u određenom ekosustavu nekog područja, već je u njega dospjela namjernim ili nenamjernim unošenjem i to od strane čovjeka. Sinonimi za zavičajnu vrstu jesu: autohtona, izvorna, domaća, nativna i domicilna, dok uz naziv strana vrsta u literaturi nailazimo na sinonime kao što su egzotična vrsta, unesena vrsta ili introducirana, nenativna, nezavičajna, alohtona i dr. (NN, 2013; Nikolić i sur., 2014; Sudarić Bogojević, 2018). Unesene na neko područje izvan njihova prirodnog staništa, kao posljedica namjernog ili nenamjernog djelovanja čovjeka, procesom naturalizacije na novonastanjenom području (Mitić i sur., 2008) strane invazivne biljne vrste čine jedno od „velikih pet“ ekoloških pitanja 21. stoljeća (Barney i sur., 2013). Već tisućljećima, od prvih migracija ljudi, početka poljoprivrede i uzgoja stoke, ljudi su namjerno ili slučajno prenosili biljke kad god su se sami preselili, zajedno sa životinjama, sjemenom i drugom robom. Većina takvih selidba, a time i prenošenja vrsta, bila je blisko vezana uz migracije ljudi i prevladavanje velikih geografskih barijera. U tadašnje vrijeme, većina tih prenošenja, odnosno unosa stranih invazivnih biljnih vrsta na nova područja, bila je slučajna kao posljedica prenošenja pomiješanog sjemena invazivnih biljnih vrsta u sjemenkama usjeva (Kowarik i Lippe, 2007). Biljka koja je prirodno rasprostranjena na jednom području, može biti strana na drugom te način prijenosa može biti namjeran ili nenamjeran. Namjerno prenošenje biljaka (i životinja), odnosno izravan unos iz jednog područja u drugo počeo je sa seobom plemena. Prije 100.000 god. čovjek je došao do Europe i Azije, prije 40.000 – 60.000 godina do Australije, prije 15.000 – 20.000 godina do Amerike, a do pojedinih udaljenih pacifičkih otoka prije 1000 godina. Kroz sva ta povijesna razdoblja kamo god da su ljudi migrirali uvijek su sa sobom prenosili i biljke i životinje. Tako su stanovnici Azije koji su naselili Ameriku sa sobom donijeli psa, dok su stanovnici Bliskog istoka i središnje Azije na putu prema Europi donijeli mnoge žitarice, vinovu lozu i druge biljke. Rana razmjena dobara, a potom i prava trgovina ubrzala je prijenos mnogih vrsta iz jednog

područja u drugo. Širom jugoistočne Azije kineski trgovci raznosili su različite biljke, dok su iz Indije putovali razni začini na Bliski istok i dalje prema Europi. Novi pomorski putovi i sve naprednija plovila omogućili su jednostavniji prijenos biljaka iz jednog područja u drugo i to na znatno veće udaljenosti u kraćem vremenskom periodu. Otkrićem Amerike mnoge biljne vrste koje su do tada bile potpuno nepoznate Europljanima prenesene su preko Atlantika u Europu, primjerice krumpir, grah, rajčica, paprika, suncokret, kukuruz. Također, i iz Europe su prenesene mnoge biljne vrste kao što su kupus, rotkva, luk, mrkva, salata i leća koje su bile nepoznate Amerikancima. Više od 50 000 000 Europljana u razdoblju od 1820. do 1930. god. migriralo je širom svijeta prenoseći brojne vrste biljaka i životinja na područja na kojima nisu bile ni nikada ne bi bile rasprostranjene prirodnim putem (Mitić, 2014).

Prema Zakonu o zaštiti prirode strana vrsta smatra se invazivnom ukoliko njeno širenje ima negativan utjecaj na ekosustav, bioraznolikost, povezane usluge ekosustava, zdravlje ljudi ili nanosi štete gospodarskom razvitku na području u koje je unesena (NN 80/2013; MINGOR, 2020). U Hrvatskoj istim je Zakonom zabranjen uvoz kao i stavljanje stranih vrsta na tržište, odnosno njihov unos u prirodu te u sve ekosustave u kojima one prirodno ne obitavaju. Strane invazivne vrste jedna su od najznačajnijih izravnih prijetnji bioraznolikosti na globalnoj razini, odmah nakon izravnog uništavanja prirodnih staništa, klimatskih promjena i zagađenja. Sve češće, invazivne biljne vrste u središtu su pozornosti ekologa, šumara, poljoprivrednika i poduzetnika zbog njihovih negativnih ekoloških utjecaja i povezanih gospodarskih gubitaka u različitim razmjerima (Haubrock i sur., 2021). Učinci povećane globalizacije, međunarodne trgovine, turizma, prometa i putovanja dramatično su povećali širenje stranih invazivnih biljnih vrsta koje mogu smanjiti biološku raznolikost, promijeniti funkciju ekosustava, promijeniti dostupnost resursa i utjecati na zdravlje ljudi (Ricciardi i sur. 2000). Između ostalog, promjenom i uništavanjem staništa, uništavanjem ekosustava, zagađenjem, porastom broja stanovništva, prekomjernom eksploatacijom resursa i širenjem alohtonih invazivnih biljnih vrsta, čovjek je razlog za šesto masovno izumiranje vrsta. No upravo su invazivne biljne vrste jedna od najvećih prijetnja bioraznolikosti, odmah nakon izravnog uništavanja prirodnih staništa (Herceg 2013; Ceballos, 2015). Specifičnosti određene vrste kao i specifičnosti ekosustava, uvelike diktiraju hoće li neka vrsta biti invazivna na novom području na koje je unesena.

Invazivne alohtone biljne vrste pokazuju brzu prilagodbu uvjetima u novom okolišu, smanjuju biološku raznolikost istiskujući zavičajnu floru, onemogućuju rast drugih biljaka stvarajući guste sklopove, imaju sposobnost izuzetno brzog samostalnog razmnožavanja, hibridiziraju sa zavičajnim biljnim vrstama te uzrokuju niz drugih neželjenih posljedica na tlo, okoliš i ljude (Nikolić i sur., 2014). Posjeduju određene značajke koje im omogućuju uspijevanje na staništima izvan svog prirodnog područja rasprostranjenosti te imaju potencijal

širenja na područja velike površine. Nedostatak prirodnih kompetitivnih vrsta i neprijatelja, sposobnost brzog i nekontroliranog razmnožavanja i rasta, veliki broj potomaka, velika gustoća i pokrovnost, tolerancija na različite nepovoljne stanišne uvjete te neizbirljivost u prehrani, samo su neke od njihovih značajki (Siddiqui i sur., 2021). Invazivnost biljnih vrsta ovisi o brojnim čimbenicima. Invazivne biljne vrste često imaju ekološke značajke koje im omogućuju kolonizaciju područja narušene prirodne ravnoteže i izravnom kompeticijom postaju dominantne vrste na području. Pokazuju veliku genetsku varijabilnost i fenotipsku plastičnost, dok je najvažnija značajka invazivnih biljnih vrsta sposobnost brzog i samostalnog razmnožavanja u vrlo kratkom razdoblju što rezultira njihovom velikom brojnošću i gustoćom (Novak, 2018). Navedena svojstva brzog širenja kao i mogućnost preživljavanja i razmnožavanja u novim nenativnim uvjetima stekle su nizom prilagodbi na nova staništa što čini glavni preduvjet za njihovu invazivnost. Sjeme invazivnih vrsta često odlikuje odgoda klijanja (dormantnost) čime takve vrste osiguravaju preživljavanje jednog dijela populacije. Prilikom nepovoljnih vanjskih čimbenika sjeme može dugo vremena provesti u fazi dormantnosti, odnosno fazi mirovanja, a kada se ostvare povoljni edafski ili vremenski uvjeti prokliju u vrlo kratkom roku. Kao što je navedeno, osim proizvodnje velikog broja sjemena, često su prisutni i oblici vegetativnog razmnožavanja (Nikolić i sur., 2014; Novak, 2018). Ostale bitne prilagodbe koje posjeduju jesu: hiperprodukcija i širenje diaspora, peludi, spora, sjemena, plodova i vegetativnih rasplodnih organa na značajnoj udaljenosti od matičnih, roditeljskih biljaka, samooplodnja u kombinaciji sa stranooplodnjom kao i snažni oblici vegetativnog razmnožavanja. Navedene vrste imaju široku ekološku amplitudu s obzirom na kritične ekološke čimbenike te kratak i brz životni ciklus (Nikolić i sur., 2014). No i uz sva navedena svojstva, invazivne vrste i dalje ne bi bile u mogućnosti nadvladati određene takozvane evolucijske filtere kako bi invazirale nova staništa bez alelopatije. Naime, invazivne biljne vrste karakterizira svojstvo alelopatije, odnosno prisustvo alelokemikalija, koje inhibiraju rast i razvoj drugih susjednih biljnih vrsta, a povećavajući time uspješnost potiskivanja nativne flore na novom području (Lorenzo i sur., 2012). Inhibicijom klijanja i/ili rasta susjednih biljaka invazivne vrste dolaze u nadređen položaj. Alohtone vrste su u prednosti pred autohtonim vrstama zbog evolucijske neprilagođenosti okoline na njihove alelokemikalije što alelopatiju čini jednim od važnih čimbenika invazivnosti (Novak, 2018). Uz navedena svojstva, važno je napomenuti da strane biljne vrste na novim područjima najčešće nemaju prirodne neprijatelje što im također daje prednost pred nativnim vrstama (Vilà i Weiner, 2004). Invazivne biljne vrste često imaju sposobnost lake ekološke prilagodbe koja se očituje u velikoj genetskoj raznolikosti, jakoj otpornosti na stres, širokoj niši i sposobnosti proizvodnje inhibirajućih tvari za rast drugih biljaka. Također, oslobađanje alelokemikalija i eksudata korijena invazivnih biljnih vrsta ima toksične učinke na klijavost sjemena kao i same biljke te mikrobne zajednice

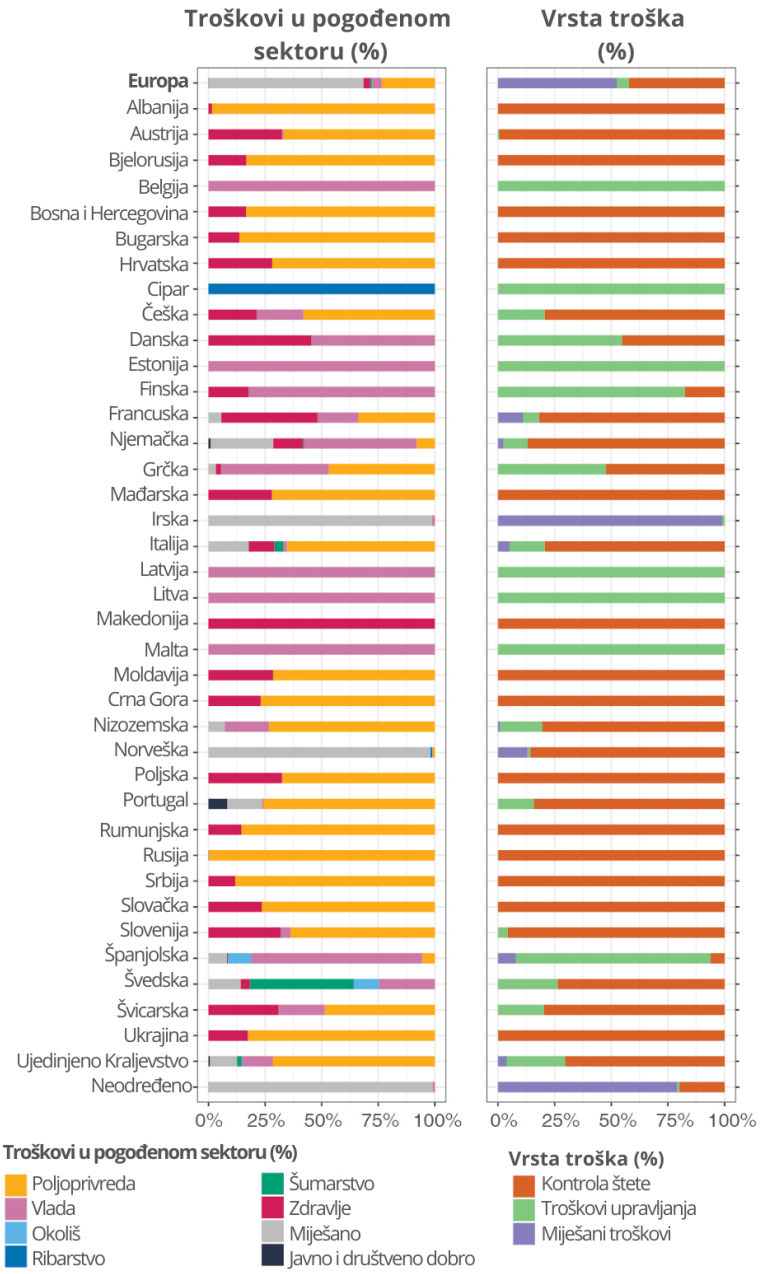
u tlu (Feng i sur., 2021). Sva gore navedena, opisana svojstva i značajke zapravo su mehanizmi koji invazivnim biljnim vrstama omogućavaju preživljavanje. Takvi mehanizmi najčešće se klasificiraju u tri kategorije ovisno o ekološkim procesima koji su izazvali invazije. Prvu kategoriju čine mehanizmi fizičkog okruženja poput fenotipske plastičnost i evolucijske prilagodbe okolišu. U drugu kategoriju ubrajaju se mehanizmi korištenja resursa kao što su kompeticija za resurse, korištenje resursa i alelopatija, dok treću kategoriju čine mehanizmi oslobađanja od neprijatelja kao što su visoka stopa rasta i razmnožavanja, evolucijski povećana konkurentnost i fenotipska plastičnost u raspodjeli resursa (Shea i Chesson, 2002; Ren, 2009).

Broj invazivnih vrsta nastavlja se globalno povećavati bez znakova zasićenja, unatoč nastojanjima da se invazije zaustave (Seebens i sur., 2017). Godine ljudskog utjecaja stvorile su uvjete za njihovo širenje na područja gdje nikada nisu bile niti se ne bi prirodno nastanile, dok ih njihova jedinstvena svojstva čine široko rasprostranjenima u svim ekosustavima (Novak i Kravrščan, 2011). Rasprostranjivanje vrsta u nova područja događa se vrlo sporo već milijunima godina i obično nastupa kada gustoća populacije premaši kapacitet okoliša, odnosno kada u njemu više nema dovoljno resursa za rast populacije ili pak u situacijama kada je potrebno izbjeći nepovoljne okolišne uvjete. Ta se pojava naziva prirodna disperzija (Sudarić Bogojević, 2018). Ukoliko dođe do širenja unesene strane vrste na druge lokacije u neposrednoj blizini, utoliko govorimo o tzv. sekundarnom rasprostranjivanju vrste koje također može biti prirodno, ali i potpomognuto ljudskim aktivnostima. U budućnosti, strane će se vrste morati promatrati u kontekstu prilagodbe na klimatske promjene koje također imaju značajnu ulogu u distribuciji stranih vrsta i to od trenutka kada vremenski uvjeti u okolišu stvore povoljne prilike za širenje onih vrsta koje su bile ograničene u kretanju (Hulme, 2016). Opći utjecaj klimatskih promjena je takav da će korovne vrste (one koje su vrlo pokretne i brzo se koloniziraju) i invazivne strane vrste imati prednost pred ostalima. Kako bi se ta prilagodba još dodatno olakšala, sve češće će biti udruženo kretanje biljnih i životinjskih vrsta, što će komplicirati već i tako složeni proces (Sudarić Bogojević, 2018). Istraživanja dokazuju da se gustoća, bogatstvo i raznolikost autohtonih vrsta, uvelike smanjuju povećanjem područja invazije biljaka (Adams i sur., 2020; Feng i sur., 2021). Svojstva invazivnih stranih vrsta omogućuju im brzu prilagodbu uvjetima u novom okolišu te rapidnu integraciju u prethodno „neinficirana" staništa, ona koja su utjecajem čovjeka izbačena iz prirodne ravnoteže ili ugrožena klimatskim promjenama. One uspješno stvaraju velik broj reproduktivno sposobnih potomaka i na vrlo velikim zračnim udaljenostima od roditeljskih biljaka te imaju izrazito veliki potencijal za širenje na područja velikih površina (Nikolić i sur., 2014). Vrlo često predstavljaju dominantnu vrstu na ruderalnim, tj. rubnim i zapuštenim tlima kao i kompleksima obrađenog zemljišta, travnjaka, pašnjaka, parkova, vrtova, industrijskih područja itd (Hulina, 1998).

Najveća su prijetnja u osjetljivim ekosustavima koji su zemljopisno izolirani kao što su manji otoci, gdje su stvorile uvjete za širenje na područja gdje nikada nisu bile, niti bi se prirodno proširile (Novak i Kravršćan, 2011). Ekonomski razvijene zemlje s brzo rastućim gospodarstvom kao i udaljeni i gusto naseljeni otoci imaju najveći priljev invazivnih vrsta (Njoki, 2017). Identificiranje takvih kritičnih točaka, globalne baze podataka o stranim invazivnim biljnim vrstama te izvještaji o statusu biološke raznolikosti, mogli bi ublažiti i pomoći u sprečavanju daljnjih invazija (Van Kleunen i sur., 2015). To se posebice odnosi na obalna područja koja koriste morske luke kao uvozna čvorišta gdje se često u kontekstu „slijepih putnika“ prevoze i invazivne biljne vrste (Hulme, 2009). Upravo iz tih razloga, stopa invazije je osobito značajna na otocima i u obalnim regijama s toplijom klimom. Domaće, endemske i rijetke biljne i životinjske vrste posebno su ranjive u ovim regijama s obzirom na to da morski transport i prijevoz dobara omogućuje širenje invazivnih vrsta. Klimatske promjene, urbanizacija i intenzivno korištenje zemljišta, uz autohtone vrste, omogućuje širenje alohtonim vrstama u sredine koje su za njih prije bile neodržive (Njoki, 2017). S obzirom na kontinuirano povećanje putovanja i trgovine, očekuje se nastavak uvođenja vrsta na nova područja s posljedicama na biološku raznolikost kao i funkcije ekosustava (Flory i Lockwood, 2020). Kada strane vrste koje su invazivne dospiju na nova područja mogu uzrokovati značajne štete na novim prostorima te čine prijetnju nativnoj bioraznolikosti. Procjenjuje se da se otprilike na svakih 100 unesenih vrsta 10 uspješno naturalizira, dok od svakih 100 naturaliziranih oko 10 postane invazivno (Novak, 2018). Prema IUCN-ovom Crvenom popisu (*International Union for Conservation of Nature - Red List*), do sada je izumrlo 33 % ptica, 6 % sisavaca i 11 % vodozemaca na globalnoj razini za što su odgovorne isključivo strane invazivne biljne i životinjske vrste (Kovačić i Janev Hutinec, 2015).

Negativni učinci invazivnih biljnih vrsta, koncept invazivnosti, posljedice njihova rasprostranjivanja kao i sam susret sa stranim invazivnim vrstama sve su učestaliji, no i dalje su uglavnom nepoznati javnosti. Invazivne biljne vrste imaju značajan utjecaj na okoliš kao i na ljude, dok se u prosjeku godišnje na njihovu kontrolu troši otprilike 1,4 trilijuna dolara (12,4 bilijuna eura), odnosno 5 % svjetske ekonomske vrijednosti (NASA, 2024). Invazivne biljne vrste uzrokuju značajne ekološke, zdravstvene i ekonomske štete posebice po pitanju gubitka bioraznolikosti, no nema globalnih procjena odnosno prikaza raspodjela troškova po zemljama, socioekonomskim sektorima i taksonomskim skupinama kao i socioekonomske korelacije troškova upravljanja i šteta invazivnim biljnim vrstama (Kumar Rai i Singh., 2020). Procjenjuje se da samo u Americi godišnji ekonomski gubici uzrokovani invazivnim biljnim vrstama, mogu doseći otprilike od 127 do 291 milijun dolara (od 112,4 do 257,5 milijuna eura) (Zavaleta, 2000). Istraživanje iz 2021. godine (Haubrock i sur., 2021) jedno je od rijetkih gdje se navode procjene troškova upravljanja i kontrole šteta uzrokovanih invazivnim biljnim

vrstama u Europi. Autori istraživanja navode da se od 1960. do 2020. godine na invazivne biljne vrste potrošilo oko 116,61 milijarda eura što znači da se samo u jednoj godini na području Europe na njih utrošilo otprilike 1,94 milijarde eura. Od spomenutih troškova čak je 60 % bilo povezano sa štetom i kontrolom štete te je utjecalo na više različitih sektora (Slika 1) (Haubrock i sur., 2021).



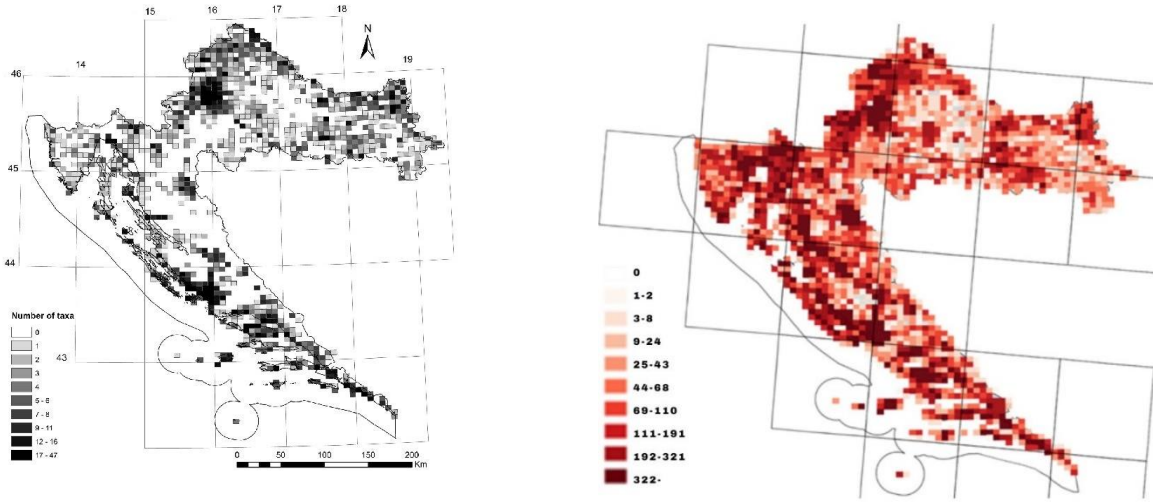
Slika 1. Utjecaj invazivnih biljnih vrsta; prikaz vrste vezanih troškova i pogođenih sektora

(Prilagođeno prema Haubrock i sur., 2021)

Troškovi upravljanja invazivnim biljnim vrstama u Hrvatskoj utrošeni su isključivo na kontrolu i sanaciju šteta (Slika 1). Najviše su pogođeni sektori gospodarstva, zdravstva, poljoprivrede, šumarstva i zaštite prirode. Uvedene su brojne regulative, zakoni i konvencije kojima se pokušava kontrolirati ili iskorijeniti strane vrste koje ugrožavaju nativne ekosustave (Nikolić i sur., 2014). U istraživanju koje su proveli u Češkoj Hejda i sur. (2009) od 13 analiziranih invazivnih biljaka za 11 je potvrđen negativan utjecaj na lokalne biljne zajednice što je rezultiralo smanjenjem bioraznolikosti.

2.1.1. Pregled stanja rasprostranjenosti invazivnih biljnih vrsta u Hrvatskoj

Područje Hrvatske sastoji se od četiri velike biogeografske regije: alpske, mediteranske, panonske i kontinentalne te joj velika raznolikost reljefa, klime, geologije i staništa omogućuje izrazito bogatu i raznoliku floru (Škvorc, 2021). Po pitanju vaskularne flore Hrvatska se ističe s 4650 vaskularnih vrsta i 1190 podvrsta, što se može pratiti pomoću alata FCD (Flora Croatica Database). Odabirom filtera alohotone biljke te filtera invazivne biljke, trenutno je zabilježeno 77 invazivnih vrsta unutar flore Republike Hrvatske (RH) (Nikolić, 2024). Prvi nacionalni projekt o invazivnoj flori u Republici Hrvatskoj proveden je 2006. godine, a njegovi ciljevi bili su: provedba usvajanja nacionalnih standarda, kriterija i terminologije, izrada preliminarnog popisa invazivnih stranih biljnih svojti u Hrvatskoj te razvoj baze podataka invazivne flore (Mitić i sur., 2008). Podizanje svijesti o problemu invazivnih biljaka u Hrvatskoj povećano je zadnje desetljeće, baš kao i broj invazivnih vrsta. U odnosu na 2013. godinu kada su invazivne biljne vrste na području Hrvatske zabilježene na 49 % ukupnog državnog teritorija (57 000 km^2). Karta rasprostranjenosti invazivnih alohtonih biljnih vrsta na području Hrvatske iz 2013. godine pokazuje da je na jedinici površine bilo zabilježeno od 17 do maksimalno 47 stranih invazivnih biljnih vrsta. U 2024. godini karta rasporostranjenosti stranih invazivnih biljnih vrsta prikazuje mnogo goru situaciju, odnosno da je po jedinici površine moguće zabilježiti i više od 322 jedinke stranih invazivnih biljnih vrsta (Slika 2), (Mitić, 2014; Nikolić, 2024).



Slika 2. Karta rasprostranjenosti invazivnih alohtonih biljnih vrsta na području Hrvatske 2013. i 2024. godine

(lijevo, Mitić, 2014; desno - Nikolić, 2024)

Preliminarni popis stranih invazivnih biljnih vrsta u Hrvatskoj izrađen je 2008. godine od strane Boršić i sur., (2008). U isto vrijeme kreirana je i nacionalna baza podataka o vaskularnoj flori Republike Hrvatske (Nikolić, 2024) pod nazivom FCD baza podataka (Flora Croatica Database). FCD omogućava konstantan unos podataka i opažanja o svim biljnim vrstama, pa tako i o onim invazivnim u bazu, dok se u bazi nalaze podaci unošeni od 2006. godine kada je kreirana njena trenutna inačica. Podaci koji su unešeni u FCD obuhvaćeni su u okviru realizacije više različitih projekata i inicijativa, na volonterskoj osnovi od strane stručnih suradnika, honorarnih djelatnika, diplomanata te razmjenom s drugim ustanovama u zemlji i svijetu. FCD baza, osim popisa biljnih vrsta, nudi mogućnost pregleda karta rasprostranjenosti pojedine biljne vrste na području Republike Hrvatske, a omogućava pristup informacijama o taksonomiji, rasprostranjenosti, staništima i statusu ugroženosti biljnih vrsta kao i svojstvima i specifičnosti svake unesene biljne vrste u bazu uključujući i alohtone biljne vrste. Popis stranih invazivnih biljnih vrsta u Hrvatskoj trenutno sadrži 77 vrsta iz 28 različitih porodica (Prilog I, Tablica 1) (Nikolić, 2024).

Zakonska regulativa stranih invazivnih biljnih vrsta u Hrvatskoj usklađena je s međunarodnim i europskim standardima kako bi se zaštitila biološka raznolikost (HAOP, 2015). Hrvatska je donijela niz zakona i pravilnika, poput Zakona o zaštiti prirode i Zakona o sprječavanju unošenja i širenja stranih te invazivnih stranih vrsta, koji reguliraju postupanje s invazivnim vrstama (Hrvatski sabor, 2019, NN 15/18, 14/19). Osim toga, implementirani su pravilnici i projekti za praćenje i smanjenje utjecaja invazivnih vrsta, kao što su *Preliminarna lista invazivnih vaskularnih biljaka* i *Preliminarni popis invazivnih stranih biljnih vrsta* (Dobrović i sur., 2006 Boršić i sur., 2008).

2.1.2. Razlike između drvenastih i zeljastih invazivnih biljnih vrsta

Prema anatomskoj građi stabljike, invazivne biljne vrste mogu se podijeliti na drvenaste (višegodišnje ili trajne biljne vrste koje stvaraju strukturalno tkivo u obliku drva) i zeljaste vrste (jednogodišnje ili trajne biljne vrste koje nemaju drvenasto tkivo). Građa njihove stabljike može biti pokazatelj mogućnosti njihove krajnje upotrebe (Zimdahl, 2018). Dok se u drvenastu biomasu ubraja drveće i grmlje, zeljastu biomasu najčešće predstavljaju biljne vrste koje odumiru na kraju vegetacijske sezone poput trava i korova (Basu i Kaushal, 2023). Zanimljivo je da zapravo drvenaste i zeljaste vrste dijele mnogo ključnih mehanizama za rast i razvoj zahvaljujući evolucijskom prijelazu s jednih na druge (Dai, 2019). Unatoč tome, mnoga istraživanja usmjerena su na temeljito ispitivanje razlika između njih te opisuju najbitnije karakteristike drvenastih i zeljastih biljnih vrsta. Razlike među njima prilično su očigledne, posebice u njihovoj strukturi, odnosno građi njihove stabljike, brzini rasta i načinu razmnožavanja, životnom vijeku kao i mogućnostima tolerancije abiotičkih i biotičkih stresova ovisno o njihovom intenzitetu i trajanju, ali i načinu i vrsti prilagodbe na njih (Silvertown i sur., 1993; Chu i sur., 2011; Gioria i sur., 2019). Uza sve navedeno, možda je najočiglednija razlika upravo u udaljenosti na koju se moraju prenijeti, voda te hranjive i mineralne tvari važne za rast i razvoj biljke, kao i razlika u postotku fotosintetizirajućeg tkiva. Također, zbog razlike u životnom vijeku može se reći da su drvenaste vrste češće izložene većim okolišnim varijacijama, posebice onim uzrokovanim klimatskim promjenama (slaba klijavost sjemena, niska reproduktivnost, prekomjerna smrtnost biljaka, potencijalni učinci povećanja koncentracije ugljikovog dioksida i globalnog zatopljenja, onečišćenje okoliša, gubitak bioraznolikosti, kompeticija biljaka i sukcesija te kontrola otpadanja vegetativnih i reproduktivnih struktura) (Pallardy, 2010; Liu i sur., 2022). Za razliku od drvenastih vrsta, zeljaste se vrste moraju zbog učestalo kraćeg životnog vijeka puno brže prilagođavati okolini. One nemaju puno vremena za laganu prilagodbu na teška fiziološka ograničenja, primjerice na nedostupnost vode ili nedostatak padalina te temperaturne anomalije (Compagnoni i sur., 2021). Osim toga, ograničena rasprostranjenost i malen rast zeljastih vrsta, mogu ih učiniti osjetljivijima na navedene antropogene utjecaje, dok ih druge značajke (npr. sposobnost ponovnog klijanja, klonska reprodukcija) mogu učiniti otpornijima u usporedbi s drvenastim vrstama (Compagnoni i sur., 2021; Spicer i sur., 2022).

Upravo navedene razlike između drvenastih i zeljastih vrsta, razlog su zašto su u ovome istraživanju one zasebno analizirane i promatrane. Već pri pogledu na odabrane vrste ili samo na građu njihove stabljike (drvenaste i zeljaste vrste), moguće je pretpostaviti mogućnosti njihove daljnje ili krajnje upotrebe. Dok se drvenaste biljne vrste smatraju jednim od najbitnijih izvora osnovnih sirovina kao što su drvo, celuloza, hrana za ljude i divlje životinje,

gorivo, voskovi, ulja, guma, smola, tanini i drugo (Pallardy 2010; Cui i sur., 2021); zeljaste su vrste češće spominjane kao izvor visokovrijednih prirodnih spojeva i pigmenta s mogućom upotrebom u kozmetičkoj, farmaceutskoj ili industriji biopesticida (Sharma i Pant, 2019). Također, spominje ih se u kontekstu bogatih izvora hranjivih tvari za primjerice poboljšanje tla kroz zelenu gnojidbu ili kompostiranje (Barman i Roy, 2022), dok neka istraživanja navode da upravo zeljaste vrste imaju globalno značajnu ulogu po pitanju bioraznolikosti i apsorpciji ugljikovog dioksida iz atmosfere (Scurlock, 1998; Gilliam, 2007).

2.1.3. Metode uklanjanja invazivnih biljnih vrsta

Iako su provedena mnoga istraživanja koja su fokusirana na razvoj učinkovitih metoda uklanjanja invazivnih biljnih vrsta, njihovo potpuno uklanjanje gotovo je nemoguće (Booy i sur., 2020; Assis i sur., 2021). Metode na koje je usmjerena sve veća pažnja pretežito se koriste za kontrolu širenja ili lokalno uklanjanje invazivnih biljnih vrsta, a često su podijeljene u kategorije kao što su prevencija, rano otkrivanje, praćenje stanja, procjena utjecaja, uklanjanje i ograničavanje rasprostranjenosti te gospodarenje staništima (Flory i Clay, 2009). Odabir najpogodnije metode za uklanjanje određene invazivne vrste može ovisiti o brojnim čimbenicima kao što su sama biljna vrsta, građa njezine stabljike, trajanje života, učinkovitost tehnika suzbijanja, dostupnost bioloških sredstava za kontrolu ili životinja za ispašu, vremensko razdoblje potrebno za suzbijanje, okolišni uvjeti, ograničenja vezana uz upotrebu kemikalija, topografiju, klimatske uvjete ili trošak provedbe kontrole. Prednosti i nedostaci takvih metoda variraju ovisno o jačini pritiska invazivnih biljnih vrsta nad autohtonim vrstama i staništima (Paynter i Flanagan, 2004; DiTomaso i sur., 2010).

Učinkovite metode uklanjanja invazivnih biljnih vrsta najčešće uključuju: mehaničke, kemijske i biološke načine (Flory i Clay, 2009). Mehaničke metode uklanjanja podrazumijevaju uklanjanje cijele biljke ili fizičko oštećenje izbojaka ili korijenja biljke do točke u kojoj ona više ne može preživjeti. Navedene metode uključuju postupke kao što su: čupanje, okopavanje, rezanje, košenje, krčenje, ispaša stoke, kontrolirani požari i upotreba specijalizirane mehanizacije. No, istraživanja su pokazala kako mehaničke metode često nisu učinkovite zbog toga što dolazi do ponovnog rasta i regeneracije biljaka iz sjemena i vegetativnih organa, a isto tako one mogu biti skupe i mogu remetiti svojstva tla (Rajasekaran i sur., 2020; Núñez-González i sur., 2021). Stoga su najčešće mehaničke metode učinkovite kod uklanjanja drvenastih vrsta, no dovode do narušavanja okolišnih uvjeta na staništu te područja tretirana mehaničkim metodama postaju osjetljivija i sklonija daljnjim invazijama. Uz to, postoji opasnost od daljnjeg širenja invazivnih vrsta kojemu uzrok može biti nespretno rukovanje kontaminiranim strojevima za uklanjanje (Paynter i Flanagan, 2004; DiTomaso i sur., 2010).

Kemijske metode uključuju korištenje herbicida za uništavanje točno određenih biljaka u svrhu njihova uklanjanja, odnosno narušavanja njihova zdravlja i oslabljenja populacije na razinu prirodne vegetacije nekog područja. Uz pomoć herbicida biljka se oslabljuje ili se prekida njezin razvojni ciklus. Herbicidi se mogu primijeniti prskanjem (ručno, traktorski, avionom) ili se baza odrezane biljke može premazati herbicidom kako bi došlo do uništavanja podzemnih dijelova biljke. Herbicidi se općenito klasificiraju prema načinu djelovanja, selektivnosti i mjestu primjene (folijarno ili tlo). Herbicidi koji se primjenjuju u tlu općenito su usmjereni na presadnice u nicanju, dok herbicidi koji se primjenjuju na listovima kontroliraju biljke u rasponu od sadnica do potpuno zrelih biljaka. No, bitan je oprez kod njihove primjene, s obzirom na to da postoji mogućnost zaostatka toksičnih rezidua koji mogu dovesti do onečišćenja podzemnih ili površinskih voda, kretanja herbicida vjetrom te inhibiranja ili oštećenja autohtonih vrsta. (Flory i Clay, 2009; DiTomaso i sur., 2010; Basrek, 2019). Biološke metode uključuju namjernu upotrebu prirodnih neprijatelja u prevenciji ili uklanjanju određenih invazivnih vrsta. Međutim, prije same provedbe takvih procesa kontrole i suzbijanja, potrebno je provesti opsežna istraživanja. Ovakve metode uključuju oslobađanje prirodnih neprijatelja koji će umanjiti zdravlje biljaka i smanjiti snagu populacije na razinu usporedivu s prirodnom vegetacijom. Ipak, spomenuti prirodni neprijatelji također su uneseni na određeno područje, najčešće iz prirodnog područja problematične biljne vrste te postoji opasnost da i oni sami postanu invazivni. Biološke metode, često predstavljaju jedinu ekonomski prihvatljivu opciju dugoročnog upravljanja invazivnim vrstama, a jedan su od rijetkih alata koji su dokazano učinkoviti u njihovom suzbijanju na način da vrše stres na ciljanu biljku kako bi se smanjila njena kompetitivna sposobnost i dominacija. Pozitivan dojam bioloških metoda povećavaju tvrdnje kao što su smanjenje ovisnosti o pesticidima i herbicidima te omogućena kontinuirana kontrola. Štoviše, koriste se čak i na područjima gdje autohtone populacije grmova i raslinja postaju invazivne, ali u većini slučajeva, tek nakon što se ostale metode pokažu ne djelotvornim. No, prije njihove upotrebe potrebno je procijeniti utjecaj na cijeli ekosustav i sve organizme unutar zajednice(Paynter i Flanagan, 2004; DiTomaso i sur., 2010; Basrek, 2019).

2.2. Biljna biomasa kao obnovljiv izvor energije

Biomasa se najčešće definira kroz pojam „svih oblika energija dobivenih iz biosfere, u nefosilnom obliku” (Steger i sur., 2005), a kompleksnost ovog pojma uključuje podrijetlo ili sastav, prilikom čega se izvori biomase dijele na one iz prirode i na one od ostataka iz industrije, prerade ili trgovine (Tursi i Olivito, 2021). Otprilike 75 % svjetske biomase čine ostaci sječe i otpadni nusproizvodi iz šumarstva, poljoprivrede, industrije, gradskog otpada uključujući i otpadnu biomasu invazivnih i korovnih biljnih vrsta. Svrha daljnjih istraživanja

biomase jest dokazivanje mogućnosti njenog daljnjeg korištenja kao primarne prirodne sirovine u proizvodnji energije, ali i kao mogućnosti njenog recikliranja i transformacije u proizvode dodane vrijednosti (bioadsorbensi, biokompoziti, katalizatori, prirodni spojevi, fitonutrijenti) (Pal i Singh, 2022). Srivastava i sur. (2021a), navode da je za takvu optimizaciju korištenja biomase na ekonomičan i ekološki izvediv način ključno razumijeti tehnoekonomsku izvedivost, dizajn i održivost sustava za korištenje alternativnih izvora energije. S obzirom na porast korištenja biomase u proizvodnji energije, proteklih godina provodila su se opsežna istraživanja koja procjenjuju i značaj biomase invazivnih biljnih vrsta kao potencijalnog izvora energije (Iqbal i sur., 2022; Łapczyńska-Kordon i sur., 2022; Wiatrowska i sur., 2022). Korištenje biomase invazivnih biljnih vrsta za proizvodnju energije predstavlja inovativan i održiv pristup koji može doprinijeti između ostalog i postizanju nekoliko indikatora Globalnih ciljeva održivog razvoja (Sustainable Development Goals – SDG) (UN, 2024). Primjerice, SDG 7 *„Pristupačna energija iz čistih izvora“* izravno je vezan obnovljive izvore energije iz biomase, dok su neki ciljevi održivog razvoja poput SDG 2 „*Svijet bez gladi*“, SDG 9 *„Industrija, inovacije i infrastruktura“*, SDG 12 *„Održiva potrošnja i proizvodnja“*, SDG 13 *„Zaštita klime“* i SDG 15 *„Očuvanje života na zemlji“* indirektno vezani uz različite apskete korištenja biomase (Müller i sur., 2015; Janeeshma i sur., 2022). Ukoliko se biomasa dalje ne oporabi, reciklira ili ponovno iskoristi, bilo odlaganjem na odlagališta ili spaljivanjem može značajno doprinijeti zagađenju okoliša i ekosustava (Dash i sur., 2022). Prema posljednje dostupnim podacima, opskrba Europske Unije biomasom iznosi oko 1 milijardu tona suhe tvari godišnje, a prilikom čega se oko 90 % ove biomase proizvodi u Europske Unije, a 5 % uvozi iz zemalja koje nisu članice Europske Unije (podrijetlo preostalih 5% je nepoznato). Poljoprivreda je najveći izvor biomase u Europske Unije s ukupno 69 % biomase dostupne za daljnju preradu ili potrošnju. U primjeru šumarstva i drvne biomase to je otprilike 31 %, dok sektor ribarstva i akvakulture čini manje od <1 % biomase (Gurria Albusac, 2022).

Biomasa je neutralni izvor ugljikovog dioksida i može značajno doprinijeti smanjenju njegovih emisija bez obzira na porijeklo biomase. Biljke tijekom procesa rasta apsorbiraju ugljikov dioksid putem procesa fotosinteze. Kod korištenja biomase biljnog podrijetla u svrhu proizvodnje goriva ili energije, ugljikov dioksid se ispušta u atmosferu, no međutim istovremeno biljna biomasa oslobađa jednaku količinu ugljikovog dioksida onoj koju je inicijalno apsorbirala tijekom rasta. Uslijed navedenog, njegov udio u atmosferi ostaje nepromijenjen, odnosno nema razlike između nastalih emisija ugljikovog dioksida izgaranjem biomase i onog apsorbiranog (biomasa je „ugljično neutralna“). Prilikom izgaranja fosilnih goriva poput ugljena, nafte i prirodnog plina, također se oslobađa ugljikov dioksid, no za razliku od biljne biomase on dugotrajno ostaje pohranjen u obliku fosilnih goriva (Green i Byrne, 2004). Za razliku od fosilnih goriva, biomasu najčešće karakterizira i sezonska dostupnost što

znači da su različite vrste biomase dostupne u i određenim vremenskim razdobljima, odnosno u točno određenim periodima godine. Stoga, ukoliko je planirano korištenje biomase tijekom čitave godine, potrebno je skladištenje velikih količina na dulja vremenska razdoblja, što zauzvrat dovodi do visokih troškova manpulacije i skladištenja. Štoviše, varijabilnost prinosa biomase povezana je i s vremenskim prilikama te klimatskim promjenama koje imaju snažan utjecaj na nesigurnost opskrbe sirovinom, dok sami prinosi variraju od sezone do sezone (Liu i sur., 2017). Osim navedenog, kao veliki izazov u budućnosti uzgoja biomase, potrebno je spomenuti i klimatske promjene. Primarne posljedice klimatskih promjena uključuju smanjenu količinu oborina, povišenu temperaturu, degradaciju tla te određenih vrsta usjeva kao i smanjenu plodnost tla. Ove će promjene pogoršati i edafske čimbenike tla (ograničenja ekoloških čimbenika koji se odnose na fizikalne, kemijske i biološke osobine tla) poput slanosti, plodnosti tla, tolerancije toplinskog stresa ili suše. Također, uzorkovati će smanjenje sadržaja vlage u tlu, organskih i hranjivih tvari i bioraznolikosti tla što će u konačnici rezultirati manjim prinosima usjeva, a time i njihovih ostataka te ostalih izvora biomase npr., za daljnju primjenu u proizvodnji energije (Janmohammadi i Sabaghnia, 2023).

Isto tako, izbjegavanje procesa spaljivanja biomase na otvorenom ili izbjegavanjem njezinog odlaganja na otvorenom sa svrhom razlaganja, može neposredno utjecati i na smanjenje onečišćenja zraka stvaranjem značajno manje količine štetnih stakleničkih plinova. Uz to što je lakše dostupna od fosilnih goriva, dostupna je u jako velikim količinama iz različitih izvora te je ekološki prihvatljiva, obnovljiv je i održiv resurs te postoje naznake u zamijeni korištenja fosilnih goriva, kao i u smanjenju stvaranja energetske ovisnosti o fosilnim gorivima (Tiwari i sur., 2022; Lanjekar i sur., 2023).Također, uz daljnja istraživanja oporabe biomase, biomasu kao obnovljiv izvor energije može se planski uključiti u sve karike kružnog gospodarstva (Pal i Singh, 2022). No bez obzira na sve prednosti biomase potrebno je napomenuti kako rastuće procjene potrebe za energijom, mogu dovesti do iscrpljivanja značajnijih količina do sada korištenih prirodnih biljnih izvora biomase te stoga ovom rješenju treba pristupiti sustavno i sveobuhvatno. Također, potrebno je osmisliti održive procese njene prerade kako bi se optimizirala učinkovitost biomase (Dash i sur., 2022), ali i razmotrili dodatni novi izvori biomase poput invazivnih biljnih vrsta (Van Meerbeek i sur., 2015; Ahmed i sur., 2020). Kod usporedbe prinosa biomase invazivnih i nativnih vrsta, ključno je da se invazivne vrste iznimno lako prilagođavaju na različite klimatske promjene kao i promjene biotskih i abiotskih čimbenika okoliša čime mogu stvoriti veću količinu biomase od nativnih vrsta na istoj jedinici površine (Janmohammadi i Sabaghnia, 2023). Pod utjecajem okolišnog stresa (primjerice suše), invazivne biljne vrste imaju čak dvostruko veći broj izdanaka, razvijaju veću podzemnu biomasu i puno bolje se prilagođavaju novim uvjetima što dokazuje do čak tri puta veća biomasa korijena od nativnih vrsta u tako opisanim okolišnim uvjetima. Time ne samo da

invazivne biljne vrste mogu lakše doći do hranjivih tvari te povećati unos vode za razliku od nativnih vrsta, već mogu imati stabilan rast i prinos biomase tijekom cijele godine u različitim staništima, bez obzira na klimatsku sezonu (Sindhu i sur., 2019; Barros i sur., 2021).

2.3. Mogućnosti korištenja biomase invazivnih biljnih vrsta

Biomasa invazivnih biljnih vrsta je obnovljiva sirovina koja se izravno može pretvoriti u kemijske tvari ili gorivo za daljnju proizvodnju proizvoda dodane vrijednosti. Biomasa invazivnih i drugih biljnih vrsta može se koristiti i u proizvodnji krutih, tekućih ili plinovitih goriva toplinske i električne energije, kemikalija, biomaterijala, biopolimera i nanomaterijala koji se mogu koristiti u npr. proizvodnji biofilmova u industriji lijekova i prehrambenih artikala pa sve do građevinskih materijala (Tumuluru, 2017; Iqbal i sur., 2022; Łapczyńska-Kordon i sur., 2022; Wiatrowska i sur., 2022).

Trenutna praksa odbacivanja, odlaganja na odlagališta ili otvorenog spaljivanja (Simcox, 2022) velike većine biomase, a posebice biomase invazivnih biljnih vrsta, ne samo da rezultira gubitkom resursa u obliku potencijalne sirovine ekonomskih potencijala, već uzrokuje i brojne okolišne probleme (emisije staklenički plinova, daljnje širenje tih vrsta) koji u konačnici mogu negativno utjecati i na zdravlje ljudi (Kang i sur., 2020; Vaverková i sur.,2022). Prednost koja može potaknuti korištenje biomase invazivnih biljnih vrsta, a ne njeno uništavanje, je pokušaj da se zadovolji potražnja za dodatnim izvorima biomase u svrhu proizvodnje prirodnih spojeva kao što su aditivi, arome, bojila, fitonutrijenata ili ostalih kemijskih spojevi s velikom potražnjom i primjenom u drugim industrijama ili znanstvenim tehnološkim ili komercijalnim proizvodima (proizvodnji energije, goriva, lijekova (Kumar Rai i Singh., 2020; D'Amelia i sur., 2021; Barba-Ostria i sur., 2022). Usto, biomasa invazivnih biljnih vrsta može poslužiti kao sirovina za proizvodnju čiste, zelene energije ili visokovrijednih proizvoda (Kumar Rai i Kim, 2019; Kumar Rai i Singh., 2020). Spomenuti načini korištenja invazivnih biljnih vrsta mogu predstavljati opciju osiguravanja sredstava za njihovo daljnje upravljanje ili približiti korak tome da se njihovo širenje drži pod kontrolom, a time posljedično doprinese zaštiti bioraznolikosti ugroženih područja, ali i daljnjeg utjecaja na cijeli ekosustav. U daljnjem dijelu teksta opisana je funckionalna i energetska vrijednost biomase invazivnih biljnih vrsta upravo u svrhu njenog ponovnog korištenja u proizvodima dodane vrijednosti ili za proizvodnju energije.

2.3.1. Funkcionalna vrijednost biomase invazivnih biljnih vrsta

Biomasa svake biljne vrste ima određenu funkcionalnu vrijednost s obzirom na sadržaj i profil fitonutrijenata i sekundarnih metabolita. Fitonutrijenti predstavljaju skupinu prirodnih spojeva u biljkama, također poznatih pod nazivom fitokemikalije, koji imaju značajnu ulogu u njihovom rastu, razvoju te zaštiti od stresa i bolesti, dok s druge strane pružaju brojne koristi za zdravlje ljudi i životinja (Zhao i sur., 2015; Roy i sur., 2022).

Brojne skupine fitokemikalija i fitonutrijenata imaju ulogu u biljnom sekundarnom metabolizmu pa ih često nazivamo sekundarni metaboliti ili specijalizirani metaboliti. Za razliku od primarnih metabolita, koji uključuju esencijalne tvari poput ugljikohidrata, proteina i lipida, sekundarni metaboliti igraju ključnu ulogu u biljnim interakcijama s drugim organizmima i okolišem (Lee i sur., 2013). Ovi metaboliti doprinose bioraznolikosti i prilagodbi biljaka na različite uvjete, privlače korisne organizme, odbijaju štetnike, pružaju zaštitu od stresa te obavljaju druge biološke funkcije koje pomažu u preživljavanju i interakciji s okolišem. Neki od sekundarnih metabolita posjeduju ljekovita svojstva i koriste se u tradicionalnoj medicini, dok je potvrđen njihov potencijal za primjenu u farmaceutskoj i kozmetičkoj industriji, u proizvodnji biopesticida te prehrambenoj industriji (Alamgir, 2017; Vijayakumar i Raja, 2018).

Brojni fitonutrijenti zbog svojeg značajnog funkcionalnog potencijala i biološkog djelovanja pripadaju u kategoriju bioaktivnih spojeva. Bioaktivni spojevi u biljkama su kemijski spojevi koji pokazuju biološku aktivnost kada su izloženi živim organizmima, uključujući ljude. Ovi spojevi pokazuju različite biološke funkcije i djelovanja koja pozitivno utječu na zdravlje i dobrobit organizama koji ih konzumiraju (Wood, 2017; Cazarin i sur., 2021). Zbog visoke nutritivne vrijednosti, izvrsnih funkcionalnih svojstava i povoljnih učinaka na zdravlje (antioksidativno, antikarcinogeno, protuupalno i antimikrobno djelovanje (Hamzalıoğlu i Gökmen, 2024), može se reći da bioaktivni spojevi predstavljaju funkcionalnu vrijednost neke hrane, namirnice ili biljke (Huang i Chen 2022).

Već dugi niz godina, bioaktivni spojevi s antimikrobnim djelovanjem koriste se kao npr., antimikrobna sredstva u različitim oblicima (čiste tvari, biljni ekstrakti ili bioaktivni spojevi) ili kao alternativa biokonzervansima u prehrambenim sustavima za produljenje roka trajanja svježe i prerađene hrane te očuvanje kvalitete i sigurnosti namirnica (Teshome i sur., 2022). No, njihova primjena u obliku biokonzervansa može biti otežana s obzirom da su to često hlapljivi i netopljivi spojevi, jakih aroma ili okusa te su osjetljivi na različite okolišne uvjete i uvjete obrade (Banwo i sur., 2021). Zanimljivo je da se upravo bioaktivni spojevi u nekim slučajevima smatraju alternativnom mogućnošću kod prevencije i liječenja bolesti, dok su najveće koristi prepoznate upravo kod takvih ne zaraznih bolesti (Sharma i sur., 2023). Korištenju i motivaciji za pronalaženje novih izvora bioaktivnih spojeva, sve više pridonosi

spoznaja o povećanoj potrebi potrošača za prirodnim proizvodima i spojevima, s održivim rješenjima za poboljšanje kvalitete primjerice prehrambenih proizvoda (Cazarin i sur., 2021). Također, sve veću popularnost dobivaju zbog potencijalne zdravstvene dobiti i mogućnosti široke upotrebe u raznim komercijalnim sektorima, kao što su industrija hrane i pića, kemijska i farmaceutska industrija, medicina i biologija te potencijalne zamjene sintetičkih spojeva sa onima iz prirodnih izvora (Srivastava i sur., 2021b).

Uz grupiranje prema fiziološkim, bihevioralnim ili imunološkim učincima, bioaktivne spojeve se najčešće grupira prema njihovoj kemijskoj strukturi ili funkciji u organizmu. Do danas je otkriveno mnogo bioaktivnih spojeva, a neki od najpoznatijih su: polifenoli, flavonoidi, karotenoidi, koenzim Q, fitoestrogeni, fitosteroli, vitamini, minerali (Hamzalıoğlu i Gökmen, 2024).

Najčešće se bioaktivne spojeve veže uz biljnu medicinu te aromatične i ljekovite biljne vrste (Roy i sur., 2022) koje se stoljećima smatraju osnovom tradicionalne medicine u svijetu zbog mnogo biljnih ekstrakata i aktivnih spojeva koje posjeduju (Banwo i sur., 2021; Díaz-Torres i sur., 2021). Bioaktivne spojeve biljke obično akumuliraju kao reakciju na stres. U tom slučaju oni se nazivaju sekundarni metaboliti, odnosno produkti sekundarnog metabolizma biljaka. Sekundarni metaboliti koje proizvode biljke uključuju alkaloide, fenole, flavonoide, tanine, terpene, terpenoide i steroide, a nalaze se uglavnom u jestivim dijelovima biljaka kao što su plod, stabljika ili kora (Roy i sur., 2022). Mnogi biotski i abiotski čimbenici utječu na proizvodnju bioaktivnih spojeva, koje biljke ionako proizvode u malim količinama te ih ima tek od 1 do 5 % u ukupnoj suhoj tvari biljke (Díaz-Torres i sur., 2021). Budući da su takvim stresnim životnim situacijama sklone upravo invazivnim biljnim vrstama, smatra se da će baš one sadržavati visoke koncentracije bioaktivnih spojeva. S obzirom da se upravo zeljaste vrste najčešće koriste kao aromatične i ljekovite, pretpostavka je da će upravo one imati povoljniji sastav i veću funkcionalnu vrijednost u odnosu na drvenaste. U ovom doktorskom radu uz energetsku vrijednost istražena i funkcionalna vrijednost zeljastih i drvenastih invazivnih biljnih vrsta. Iako u posljednje vrijeme postoje ideje za njihovo daljnje korištenje (prehrambena, farmaceutska, kozmetička ili druge industrije), potencijal bioaktivnih spojeva kod invazivnih vrsta nije dovoljno istražen ni prepoznat, što dokazuje i manji broj istraživanja ove problematike posljednjih nekoliko godina (Benelli i sur., 2019; Khayal i sur., 2019; Shah i sur., 2019; Wrona i sur., 2019; Móricz i sur., 2021; Shah i sur., 2021, Torres-Contreras i sur., 2022).

Pojam funkcionalna vrijednost u ovom radu okarakteriziran je vrijednostima pojedinih bioaktivnih spojeva (askorbinska kiselina, fenoli i fenolni spojevi) pigmentnih spojeva (klorofili i karotenoidi) te antioksidacijskim kapacitetom.

L-askorbinska kiselina (L-treo-heks-2-enono-1,4-lakton, askorbat), poznatija kao vitamin C, antioksidativna je molekula koja je esencijalna za normalno funkcioniranje

aerobnog života. Prisutna je u gotovo svim živim organizmima, uključujući biljke, životinje, gljive i protozoe (Locato i sur., 2013; Fenech i sur., 2019). Vitamin C, kao jedan od prirodnih vitamina topljivih u vodi, ima nekoliko važnih bioloških fukncija: kao snažno redukcijsko i antioksidativno sredstvo, detoksikaciju procesa, sintezu kolagena u vezivnom tkivu, zubima i kostima te održavanje normalne imunološke funkcije (Agrawal, 2023). Iako mnoge vrste mogu sintetizirati askorbat u jetri ili bubrezima, ljudi, primati, zamorci te neke vrste šišmiša i ptica nisu jedni od njih. Oni su s vremenom izgubili navedenu sposobnost zbog nedostka enzima glukonolakton oksidaze (GuLO) niske molekularne težine koji je ključan enzim u posljednjem koraku sinteze askorbata. Enzim im nedostaje kao rezultat mutacija u kodirajućoj sekvenci, odnosno nedostaju im geni odgovorni za sintezu ovog enzima (Drouin i sur., 2011). Stoga je kod spomenutih vrsta nužno da dovoljne količine askorbinske kiseline dobivaju iz prehrane. Askorbat obavlja nekoliko bitnih funkcija u biljnim stanicama. Neka od važnih obilježja uključuju njegov antioksidacijski kapacitet, odnosno ulogu hvatača slobodnih kisikovih radikala te oksidaciju askorbinske kiseline do neoksidativnih produkata kao što su dehidroaskorbat (DHA) i 2,3-diketogulonska kiselina (Davey i sur., 2000). Askrobinska kiselina uspješno se primijenjuje u farmaciji, kozmetici, ali i prerađivačkoj industriji prilikom čega je pronašla niz primjena od hiperpigmentacije, sposobnosti zacijeljivanja rana, smanjenja mogućnosti oboljenja od karcinoma i ostalo (Kopchak, 2021).

Polifenolni spojevi najrasprostranjeniji su sekundarni metaboliti, sveprisutni u cijelom biljnom carstvu. Fenolni spojevi ključni su za rast i razvoj biljaka, posebice za njihov obrambeni sustav (Malik i sur., 2020). Sadrže signalne molekule koje brane biljku od insekata, gljivica, bakterija i virusa, dok ih istovremeno privlače ili odbijaju. Fenolni spojevi nalaze se u većini biljnih tkiva, uključujući korijenje, stabljike, plodove, sjemenke, lišće i koru (Teplova i sur., 2018). Tijekom razdoblja stresa i invazije patogena, fenolni spojevi akumuliraju se u subepidermalnim tkivima biljke. Na proizvodnju i koncentraciju akumuliranih fenola utječu razni unutarnji i vanjski čimbenici, uključujući fiziologiju biljke, dob, razvojni stupanj, klimu te vrstu napada patogena (Ozyigit i sur., 2007). Poznato je oko 8000 fenolnih struktura u rasponu od jednostavnih fenolnih kiselina do visoko polimeriziranih spojeva poput tanina (Alara i sur., 2021). Klasifikacija fenola temelji se na kemijskoj strukturi. U tom smislu, fenolni spojevi mogu se kategorizirati na četiri načina, počevši od najopćenitijeg pa sve do najspecifičnijeg: 1) Flavonoidi i neflavonoidi (Malik i sur., 2020), 2) broj aromatskih prstenova (Machmudah i sur., 2017), 3) ugljikov kostur: C6 (jednostavni fenoli, benzokinoni), C6-C1 (fenolne kiseline), C6-C2 (acetofenoni, fenilaceteti), C6-C3 (hidroksicinamati, fenilpropanoidi), C6-C4 (naftokinoni), C6-C1-C6 (ksantoni), C6-C2-C6 (stilbeni, antrakinoni), C6-C3-C6 (flavonoidi, izoflavonoidi), (C6-C3)2 (lignani, neolignani), (C6-C3-C6)2 (biflavonoidi), (C6-C3)n (lignini), (C6)n (katehol melanini) i (C6-C3-C6)n (kondenzirane trjeslovine) (Teplova i sur., 2018) i 4) osnovna

kemijska struktura koja prikazuje zajedničke atome (poput C, H i O), funkcionalne skupine (poput aromatskih prstenova, hidroksilnih skupina i keto skupina), zasićenja (poput jednostrukih i dvostrukih veza) i druge vrste veza (npr. kovalentne, ionske) (Nollet i Gutierrez-Uribe, 2018). Flavonoidi su prirodni spojevi, široko rasprostranjeni u cijelom biljnom carstvu te su klasificirani kao sekundarni metaboliti. Dijele se u nekoliko podskupina (flavonoli, flavanoli, flavoni, antocijanini, flavanoni i izoflavonoidi) (Panche i sur., 2016). Sveukupno je zabilježeno oko 10 000 flavonoida koji, nakon alkaloida (12 000) i terpenoida (30 000), predstavljaju treću najveću skupinu prirodnih spojeva (Rudrapal i Chetia, 2017). Flavonoidi su važni su u ljudskoj prehrani jer imaju veliku nutritivnu vrijednost (Bondonno i sur., 2020). Također, učinkoviti su za liječenje određenih bolesti zbog čega su poznati kao nutraceutici (Yang i sur., 2015). Flavonoidi u biljkama igraju važnu ulogu u mnogim biološkim procesima. Oni sudjeluju u rastu i razvoju sjemena, klijanju spora, rastu i sazrijevanju ploda te prijenosu hormona (Panche i sur., 2016). Flavonoidi reagiraju na biotske i abiotske čimbenike pružajući antioksidativna svojstva: štite biljke od gljivica, virusa, bakterija i biljojeda, kemijski privlače životinje oprašivače, omogućuju biljkama alelopatiju (Mierziak i sur., 2014; Panche i sur., 2016; Vicente i Boscaiu, 2018). Mnoga su istraživanja pokazala da flavonoidi posjeduju biološka i farmakološka svojstva, uključujući antioksidativna, citotoksična, antikancerogena, antivirusna, antibakterijska, protuupalna (Tiwari i Husain, 2017), antialergijska, kardioprotektivna, hepatoprotektivna i neuroprotektivna (Mehta i sur., 2022). Neflavonoidi su skupina spojeva koji sadrže jednostavniju kemijsku strukturu od flavonoida. Neflavonoidi se uglavnom sastoje od fenolnih kiselina, kumarina, stilbena i lignana (Cosme i sur., 2020). Fenolne kiseline pridonose boji, mirisu i antioksidativnom djelovanju koje varira ovisno o količini hidroksilnih skupina prisutnih u molekuli. Podijeljene su u dvije kategorije: hidroksibenzojeva i hidroksicimetna kiselina (Robbins, 2003). Najjednostavnije fenolne kiseline poznate u prirodi jesu hidroksibenzojeve kiseline poput galne, protokatehuinske, vanilinske, siringinske i salicilne kiseline (Carocho i Ferreira, 2013). Kumarini se u biljkama nalaze u slobodnom obliku ili kao kumarin glikozidi, a apsorbiraju ultraljubičasto svjetlo što rezultira njihovom prepoznatljivom plavom fluorescencijom (Stringlis i sur., 2019). Stilbeni štite biljna tkiva od napada gljivica, insekata i drugih organizama. Lignani su fitoestrogen, a nalaze se u svim organima vaskularnih biljaka. Najzastupljeniji biljni lignan je sekoizolariciresinol diglukozid (Bowers i sur., 2019).

Pigmentni spojevi su, osim za obojenje, zaslužni za nekoliko bitnih funkcija u životu biljke. Klorofil je zeleni pigment koji se prirodno pojavljuje u fotosintetskim organizmima poput biljaka i algi (Rasmussen i Morrissey, 2007). Najbitnija uloga klorofila vezana je uz proces fotosinteze s obzirom na to da su upravo oni zaduženi za apsorpciju svjetlosne energiju. Osim fotosinteze, klorofili obavljaju niz dodatnih zadaća uključujući stimulaciju rasta biljke, sadrže

antioksidativna i antimutagena svojstva te se često koriste kao prirodni izvori bojila (Peter i sur., 2021). Najčešće su podjeljeni u pet skupina: klorofil a, b, c, d i e, a osim njih, posljednjih godina identificiran je i klorofil f. Karotenoidi su pigmenti topljivi u lipidima, među najrasprostranjenijim prirodnim pigmentima, a biljkama daju karakterisitčnu crvenu, narančastu i žutu boju (de Quirós i Costa, 2006; Vargas-Murga i sur., 2016). Karotenoidi imaju bitnu fotozaštitnu ulogu kod viših biljaka, a posjeduju i značajna antioksidativna svojstva (Hamzalıoğlu i Gökmen, 2024; Šic Žlabur i sur., 2021). Karotenoidi mogu pomoći kod privlačenja oprašivača i insekata u cvijeću ili ukazati na zrelost plodova (Choo, 2018).

Antioksidacijska aktivnost, izravno je proporcionalna koncentraciji fitonutrijenata, prilikom čega biljni organizam u okolišnim uvjetima, posebice uvjetima povećane izloženosti stresu (uzrokovanom biotskim i abiotskim čimbenicima) aktivira svoj obrambeni mehanizam nakupljajući sekundarne metabolite, specifične antioksidanse kako bi se zaštitio i opstao u uvjetima nepovoljnih životnih čimbenika (Šic Žlabur i sur., 2021). Polifenoli (fenolne kiseline, flavonoidi, antocijanini, lignani i stilbeni), karotenoidi (ksantofili i karoteni) i vitamini (vitamin E i C) među najvažnijim su bioaktivnim spojevima snažnog antioksidativnog djelovanja (Baiano i Del Nobile, 2016; Lourenço i sur., 2019). Njihovo antioksidativno djelovanje povezano je s potencijalom neutralizacije oksidacijskih procesa putem inhibicije slobodnih radikala (Šic Žlabur i sur., 2021) kao i zaštite od oštećenja stanica uzrokovanih aktivnim kisikom, dušikom i klorom koji dovode do dugotrajnih oštećenja na staničnim razinama, a što posljedično dovodi do oboljenja i brojnih akutnih stanja ljudskog organizma (Zaveri, 2006). Oksidativni stres identificiran je kao glavni čimbenik u razvoju i progresiji bolesti poput neurodegenerativnih i kardiovaskularnih bolesti, dijabetesa, tumora i dr. (Sharifi-Rad i sur., 2020). Iako ljudske stanice primarno sadrže antioksidanse u plazmi, u slučaju veće izloženosti slobodnim radikalima i dalje ne omogućuje imunološkom sustavu eliminaciju istih (Young i Woodside, 2001), što podrazumijeva potrebu za unošenjem antioksidansa iz vanjskih izvora, primjerice izvora bogatih takvim spojevima (Pham-Huy i sur., 2008). Razlikujemo dvije osnovne vrste antioksidansa, neenzimske i enzimske. Prva skupina ključna je za tvorbu fitonutrijenata za obranu biljke te regulaciju fizioloških aktivnosti, dok je druga zadužena za adaptaciju biljke na stres (Marksa i sur., 2020). Za određivanje antioksidacijske aktivnosti biljnih uzoraka postoji približno 20 *in vitro* i 10 *in vivo* metoda, od kojih su najpoznatije *in vitro* metode poput: DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl), FRAP (Ferric Reducing Ability Plasma), TEAC (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity), ABTS (radical cation decolorization assay), CUPRAC (Cupric Ion Reducing Antioxidant Capacity) i TRAP (Total Radical Trapping Antioxidant Parameter) (Alam i sur., 2013; Romulo, 2020).

2.3.2. Energetska vrijednost biomase invazivnih biljnih vrsta

Potencijal proizvodnje energije iz biomase na svjetskoj razini je izrazito velik. Neke procjene navode da se čak 100 puta veća količina energije može dobiti iz biomase prikupljene na godišnjoj razini, od ukupne godišnje svjetske potrošnje energije (Cataldo i sur., 2022). No to zahtjeva korištenje dostupne biomase iz različitih izvora, a prilikom čega značajni udio s obzirom na svoje specifičnosti lakog širenja i zauzimanja svih vrsta staništa imaju i invazivne biljne vrste. Zbog velike raznolikosti fizikalnih i kemijskih svojstava biomase invazivnih biljnih vrsta izazovno je izdvojiti samo jedan način daljnje konverzije u proizvodnji zelene energije ili ostalih proizvoda dodane vrijednosti (Sieradzka i sur., 2022). Određivanjem karakteristika pojedinih sirovina može se procijeniti je li korištenje biomase održivo i učinkovito kod njenog daljnjeg pretvaranja u na primjer energiju, odnosno biogoriva, a da pritom ima minimalne izravne i neizravne utjecaje na okoliš (Yaashikaa i sur., 2022). Najčešće se procesi pretvorbe biomase kategoriziraju u termokemijske i biokemijske procese (Kumari i sur., 2021). Termokemijske tehnologije pretvorbe biomase uključuju procese poput izravnog izgaranja (toplina, para, električna energija), pirolize (biougljen, bio-ulje, bioplin), rasplinjavanja (sintetski plin, toplina, električna energija), torefakcije (toreficirana biomasa) te hidrotermalne karbonizacije, gasifikacije i likvefakcije (hidrotermalni ugljen; bioplin –metan ili vodik, biocrude - tekuće gorivo slično sirovoj nafti). U biokemijske tehnologije pretvorbe biomase ubrajaju se anaerobna digestija (bioplin – metan, električna energija, toplina), fermentacija (bioetanol) te esterifikacija (uz prethodnu ekstrakciju ulja iz sjemenka uljarica) uz korištenje mikroorganizama, bakterija i enzima za razgradnju biomase u plinovita i tekuća biogoriva ili druge oblike energije (Kumari i sur., 2021; Danso-Boateng i sur., 2022). Smatra se da termokemijski procesi imaju veću učinkovitost u usporedbi s biokemijskim/biološkim procesima u smislu vremena potrebnog za dobivanje proizvoda i/ili razgradnju organskih spojeva biomase (Kumari i sur., 2021). Svaka vrsta procesa ima svoje prednosti i nedostatke, dok optimalna metoda daljne pretvorbe biomase ovisi o konkretnim okolnostima vezanim uz pojedinu vrstu ulazne sirovine ili krajnjeg produkta. Također, iz ekološke perspektive korištenja biomase potrebno je uzeti u obzir odabir ekološki najprihvatljivije metode daljnje pretvorbe, odnosno da se mogući negativni utjecaji na okoliš svedu na minimum.

Adekvatni procesi daljnje pretvorbe biomase ovise i karakteristikama same sirovine ovisno o željenom obliku energije. U te svrhe, provode se laboratorijske analize energetskih svojstava biomase kako bi se ispitala ekonomska te ekološka isplativost njenog korištenja. Ukoliko sirovina zadovolji određene uvjete ekonomske i tehnološke opravdanosti za korištenje u daljnjim procesima transformacije, a da se pritom zadovolji kumulativna neutralnost ugljika

biomase uz zanemariv ekološki otisak, može se koristiti u navedene svrhe (Obydenkova i sur., 2022).

Gorive i negorive tvari, lignocelulozni sastav, udio makro elemenata te teških metala i ogrjevne vrijednost samo su neke od karakteristika biomase koje je potrebno ispitati prije konačne namjene, posebice u energetske svrhe. Ovisno o vrsti pretvorbe biomase u energiju (fizikalno-kemijska, termokemijska ili biokemijska) putem različitih procesa (piroliza, rasplinjavanje, izravno izgaranje, anaerobna fermentacija i dr.), te rezultatima laboratorijskih analiza, moguće je predvidjeti najadekvatniji proces za daljnju pretvorbu biomase. U tom slučaju utvrđene karakteristike biomase mogu se usporediti s normama za kruta biogoriva te vrijednostima uobičajeno korištenih energetskih kultura i ostalih otpadnih sirovina (ostataka iz poljoprivrede) ili u skladu s vrijednostima fizikalno kemijskih parametara odrediti najadekvatniji oblik finalnog proizvoda ili sam proces pretvorbe biomase (Banerjee, 2023). Pritom je važno istaknuti da su u takvom procesu poželjne sirovine, odnosno biomasa sa što višim udjelom suhe tvari i koksa te što više ogrijevne vrijednosti. Nepoželjni su pritom visok udio vlage, pepela te alkalnih i zemnoalkalnih metala zajedno sa Si, S i Cl zbog mogućih nepoželjnih utjecaja na proces gorenja koji može rezultirati niskom ogrjevnom vrijednošću te uzrokovati nepoželjne reakcije u sustavima izgaranja ili uzrokovati okolišna onečišćenja (McKendry, 2002a; McKendry, 2002b). Dostupnost i kvaliteta resursa biomase može uvelike varirati ovisno o lokalnim uvjetima. Stoga je potrebno provesti analize vezane uz procjenu sirovine kao potencijalnog goriva prije njenog daljnjeg korištenja. Pregled literature navodi da navedene analize uključuju određivanje vlage, gorivih i ne gorivih tvari, strukturnog i elementarnog sastava, udjela mikro i makro elemenata, teških metala te ogrjevnih vrijednosti.

Analiza gorivih tvari u biomasi uključuje suhu tvar, hlapljive tvari te udio ugljika, vodika, sumpora i kisika u sklopu elementarnog sastava biomase. Ova vrsta analize pruža ključne informacije o sadržaju i sastavu biomase, koji su iznimnog značaja za određivanje njezine energetske vrijednosti.

Suhu tvar biomase čini preostali dio biomase nakon uklanjanja vode, odnosno organske i anorganske tvari koje nastaju nakon sušenja (Nguyen i sur., 2020). Zajedno s udjelom vode čine ključne parametre za daljnju evaluaciju biomase kao sirovine za proizvodnju energije. Često se u literaturi navodi kako viši udio suhe tvari poboljšava kvalitetu biomase te njenu ogrjevnu vrijednost, dok količina vode utječe i na biološke i kemijske procese te na raspoloživu količinu energije (Anerud i sur., 2021). Važno je napomenuti da optimalni sadržaj suhe tvari i vode zapravo ovisi o vrsti procesa proizvodnje energije iz određene sirovine. Tako je u procesima izravnog izgaranja poželjan što niži sadržaj vode te što viši sadržaj suhe tvari, kako bi se smanjili gubici energije i povećala učinkovitost izgaranja. S druge strane, u procesima anaerobne digestije ili razgradnje, sadržaj vode treba biti visok kako bi se

olakšala mikrobna razgradnja i povećala proizvodnja bioplina. Također, prema Manikandan i sur. (2023) ukoliko biomasa ima visok sadržaj vode, troškovi sušenja mogu se smanjiti korištenjem hidrotermalnih procesa. Sadržaj vode u biomasi također utječe na njeno skladištenje i transport. Visok sadržaj vode može povećati masu i volumen sirovine, čime se ujedno povećavaju troškovi njenim rukovanjem, kao i transporta. Također, može potaknuti rast plijesni i bakterija, utječući na kvalitetu te rok trajanja pojedine sirovine. S obzirom na navedeno moguće je zaključiti da veći udio vode s ekonomskog aspekta iskorištavanja biomase u proizvodnji energije, povećava ekonomsku bilancu zbog potrebe sušenja biomase (Rajendran., 2017). Sadržaj hlapljivih tvari biomase odnosi se na organske komponente biomase koje su lako zapaljive i oslobađaju se kao plinovi nakon zagrijavanja te značajno utječu na sam proces izgaranja. Izgaranje biomase sa visokim sadržajem hlapljivih tvari (vodena para, hlapljivi organiski spojevi, organske kiseline) očituje se većim plamenom, a kod čega se oslobađaju velike količine zapaljivih tvari (ugljikov monoksid, niski ugljikovodici i monociklički aromatski ugljikovodici). Povećan sadržaj hlapljivih tvari specifičan je za goriva iz biomase koja sadrži čak do 2,5 puta više hlapljivih tvar od primjerice ugljena (Mierzwa-Hersztek i sur., 2019). U literaturi se navodi da veličina čestica ima značajan utjecaj na količinu nastalih hlapljivih tvari u procesima izgaranja i veličinu plamena (Holtmeyer i sur., 2013), dok udio hlapljivih tvari utječe na temperaturu i trenutak zapaljenja biomase (Jia i sur., 2021). Također, količina hlapljivih tvari koja se osolobodi iz biomase ovisi o brzini zagrijavanja biomase, a o količini hlapljivih tvari ovisi i udio fiksiranog ugljika (Basu i Kaushal, 2023). Veći sadržaj hlapljivih tvari može rezultirati većom ogrjevnom vrijednošću i boljom učinkovitošću izgaranja (Saidur i sur., 2011; Sivabalan i sur., 2021), dok nepotpuno izgaranje hlapljivih tvari može uzrokovati tamni dim, gubitak topline, onečišćenje i naslage čađe u kotlovima za izgaranje. Stoga je ključno prilagoditi sustave izgaranja za biomasu kroz uvođenje dodatnog zraka kako bi se osiguralo njeno potpuno izgaranje. Ostala riješenja uključuju termalne procese poput pirolize koji smanjuju udio hlapljivih tvari biomase (Mierzwa-Hersztek i sur., 2019; Sivabalan i sur., 2021).

Elementarni sastav biomase, uključuje udjele elementarnih spojeva u biomasi odnosno udio ugljika, vodika, sumpora, kisika od gorivih tvari te dušika. Ugljik je osnovni i najvažniji element svih vrsta goriva i glavni sastojak organske tvari u biomasi. Sadržaj ugljika u biomasi varira od otprilike 30 do čak 70 % (Mierzwa-Hersztek i sur., 2019). Sadržaj ugljika u biomasi važan je čimbenik u određivanju ogrjevne vrijednosti i učinkovitosti izgaranja sirovine (Clauser i sur., 2021). Ogrjevna vrijednost biomase se povećava proporcionalno s većim sadržajem organske tvari i ugljika u biomasi, iz razloga što je takva biomasa energetski zbijenija (Sivabalan i sur, 2021). Sadržaj ugljika u biomasi ključan je čimbenik u njezinoj upotrebi kao sirovine za proizvodnju energije, a može varirati ovisno o vrsti sirovine i njezinim uvjetima

uzgoja, kao i metodama žetve i skladištenja biomase. Ugljik koji se oslobađa izgaranjem biomase preuzimaju biljke putem procesa fotosinteze stvarajući zatvoreni ciklus ugljika (Kenney i sur., 2013). Također, bitna je pažljiva procjena otiska ugljika kod korištenja određene vrste biomase, pritom uzimajući u obzir cijeli životni ciklus od rasta do izgaranja, kako bi se osigurala održivost tijekom cijelog ciklusa (Clauser i sur., 2021). Ugljik se u gorivu ne nalazi u slobodnom obliku već vezan s vodikom, kisikom, dušikom i sumporom ili drugim atomom ugljika, čiji prekid rezultira oslobađanjem pohranjene kemijske energije (McKendry, 2002a; McKendry,2002b; Liu i sur., 2020). Vodik je također važna komponenta biomase i doprinosi ogrjevnoj vrijednosti i učinkovitosti izgaranja goriva (Adamovics i sur, 2018). U gorivu se nalazi u obliku raznih spojeva te veći sadržaj vodika u biomasi znači i veću ogrjevnu vrijednost zbog čega se sirovina bogata vodikom smatra poželjnom za korištenje u proizvodnji energije. Međutim, važno je napomenuti da sadržaj vodika u biomasi može varirati ovisno o vrsti sirovine i njezinim uvjetima uzgoja, starosti, genetskim te ekološkim čimbenicima, kao i korištenim metodama žetve i skladištenja biomase (Silva i sur., 2019). Vodik sam po sebi, smatra se čistim, odnosno održivim i ekološki prihvatljivim gorivom, koje u kombinaciji s kisikom oslobađa toplinu i električnu energiju gdje kao nusproduk nastaje samo vodena para (Liu i sur., 2020). Kisik je element koji se nalazi u biomasi u obliku vode, ugljikohidrata i drugih organskih spojeva. Povećana količina kisika inherentno odgovara nižem sadržaju gorivih i zapaljivih elemenata u biomasi kao što su ugljik i vodik (Huang i sur., 2009; Neves i sur., 2011; Huber i sur., 2017). Visok sadržaj kisika u biomasi može rezultirati nižom ogrjevnom vrijednošću i smanjenom učinkovitošću izgaranja, čineći sirovinu manje poželjnom za proizvodnju energije. Tvoreći kemijske veze kisika s ugljikom i drugim elementima, smanjuje se vrijednost goriva (Ahmed i sur., 2020). Veći udio kisika povećava vjerojatnost nepotpunog izgaranja i stvaranja štetnih emisija, uključujući ugljikov monoksid, dušikove okside, sumporov dioksid, ugljikovodike / hlapljive organske spojeve i čađu, koji pridonose onečišćenju zraka (Sadaka i Johnson, 2011). Metode poput torefikacije ili pirolize, mogu poslužiti kao predtretmani kod korištenja sirovine s visokim udjelom kisika prije njihova daljnjeg korištenja za proizvodnju energije (Demirbas, 2004). Sumpor je također nepoželjan element koji se pojavljuje u tragovima u biomasi, kao komponenta organskih spojeva kao što su aminokiseline organski spojevi sumpora. Vrlo je štetan za okoliš ako se veže na organsku tvar. Međutim, u usporedbi s fosilnim gorivima, tijekom izgaranja biomase oslobađa se puno manja količina sumporovog dioksida (Saidur i sur., 2011). Sumpor može utjecati na proizvodnju energije stvaranjem sumporovog dioksida i drugih zagađivača koji sadrže sumpor tijekom izgaranja. Sadržaj sumpora u biomasi kao sirovini za proizvodnju energije važan je čimbenik koji treba uzeti u obzir jer utječe na karakteristike izgaranja i emisije goriva. Veći sadržaj sumpora u biomasi znači veći potencijal za emisije sumporovog dioksida tijekom izgaranja, što čini

sirovinu manje adekvatnom za korištenje u proizvodnji energije (Borowski, 2022) i može dovesti do stvaranja energetski bogatih C–S i H–S veza (Mierzwa-Hersztek i sur., 2019). Biomasa općenito ima relativno nizak sadržaj sumpora u usporedbi s fosilnim gorivinma kao što je npr., ugljen, ali to može varirati ovisno o sirovini (Demirbas, 2004). Biomasa s niskim udjelom sumpora smanjuje vjerojatnost emisije sumpora i korozije u postrojenjima za proizvodnju energije. Kada je riječ o termokemijskim procesima pretvorbe kao što je proces izgaranja, korištenje biomase nije samo ekološki prihvatljivo, već također pomaže u smanjenju emisija štetnih spojeva poput sumporovih i dušikovih oksida. Na taj način može se minimizirati stvaranje kiselih kiša i stakleničkih plinova, kao i uništavanje ozonskog omotača (Demirbas, 2004; Mierzwa-Hersztek i sur., 2019).

Uz udio vode, analiza negorivih tvari biomase, podrazumijeva određivanje udjela pepela, koksa, fiksiranog ugljika i dušika. Sadržaj pepela predstavlja anorganski ostatak goriva nakon potpunog izgaranja. Određuje se iz mase ostatka nakon spaljivanja uzorka pri čemu u potpunosti izgaraju gorive, organske tvari iz goriva te zaostaje samo mineralna komponenta, odnosno pepeo. Spaljivanjem biomase dolazi do oksidacije organske tvari, smanjenja volumena i mase te nastaje pepeo kojeg je potrebno zbrinuti (Twardowska i sur., 2004). Elementi koje obično sadrži pepeo biomase uključuje: alkalne i zemnoalkalne metale, teške metale, nemetale i druge elemente, koji mogu utjecati na procese toplinske razgradnje biomase. Također, mogu uzrokovati različite tehnološke i ekološke probleme tijekom korištenja i / ili obrade biomase. Na primjer, njihovo prisutstvo u biomasi može dovesti do stvaranja opasnih komponenti kao što su povećane emisije sitnih čestica, može dovesti do stvaranja spojeva soli koje mogu služiti kao katalizatori ili inhibitori u daljnjim reakcijama razgradnje biomase, mogu uzrokovati niske temperature taljenja pepela ili dovesti do stvaranja povećanih količina naslaga, sinteriranja, aglomeracija, taloženja troske, korozije i abrazije te drugih tehnoloških, ekoloških i / ili zdravstvenih problema (Puri i sur., 2024). Ukoliko se biomasa koja ima povećan udio pepela planira koristiti u metodama termokemijske konverzije biomase, bilo bi nužno u spomenute procese uključiti određene predtretmane usmjerene na uklanjanje ili barem smanjenje pepela. Kada je riječ o poljoprivrednom otpadu, odnosno poljoprivrednim ostacima koji se koriste kao izvor biomase, neki autori navode da postoje značajne razlike između zeljaste biomase i ostataka iz poljoprivredne proizvodnje kao što su trave i cvijeće, energetske kulture i ostali ostaci (voće, ljuske, ljuske, ljuske, koštice, koštice, žitarice, sjemenke, kokosovo vlakno, stabljike, klipovi, jezgre, pecivo, hrana, stočna hrana, pulpa, pogače, ostalo) te drvenastih vrsta i drvne biomase (Vassilev i sur., 2010; Mann, 2012). Pregledom literature, utvrđene vrijednosti pepela kod ostataka ili nusproizvoda iz poljoprivrednih aktivnosti, sektora šumarstva te prehrambene industrije kreću se od 0,15 % do 15,36 %. Također, osim velikog raspona udjela pepela kod različitih izvora biomase,

moguće je uočiti i negativan utjecaj na ogrjevnu vrijednosti biomase, povećanjem udjela pepela (Özyuğuran i sur., 2017). Pepeo koji nastane u procesima korištenja biomase, može se dalje koristiti u poljoprivredi, kao gorivo ili u građevinskoj industriji kod proizvodnje različitih materijala ili cementa (James i sur., 2012). Koks predstavlja kruti ostatak s visokim udjelom ugljika koji zaostaje nakon gorenja ili pirolize biomase. Viši udio koksa, ubraja se među poželjna svojstva sirovine predviđene za termokemijsku prevorbu u energiju. Potencijalno takva sirovina sadrži veće količine ugljika, odnosno ima veći potencijal u proizvodnji energije, a ujedno i potencijal u zamijeni elementarnog ugljika fosilnog podrijetla obnovljivim ugljikom iz biomase (Kamal Baharin i sur., 2020; Li i sur., 2021; Rejdak i sur., 2022). Udio koksa ovisi i o količini vode u biomasi, te ima različitu strukturu i fizikalna svojstva za razliku od koksa proizvedenog iz fosilnih izvora (Yustanti i sur., 2021). Takve razlike mogu značajno utjecati na procese pretvorbe energije i daljnju upotrebu koksa pa se iz tog segmenta ne preporuča korištenje samo biomase u proizvodnji koksa (Rejdak i sur., 2022) već se preporuča korištenje biomase kao aditiva u manjem omjeru. Navedeno uvelike ovisi o daljnjoj primjeni proizvedenog koksa kao proizvoda dodane vrijednosti ili o pećima u kojima se dalje upotrebljava (Bazaluk i sur., 2022). U slučajevima izravnog izgranja biomase, udio koksa iz biomase može utjecati na karakteristike izgaranja (reaktivnost, brzinu izgaranja i oslobađanje topline tijekom izgaranja), a time i na učinkovitost samog procesa (Montiano i sur., 2014). Veći udio koksa, može utjecati na stvaranje klinkera i troske tijekom izgaranja, što može utjecati na rad cijelog sustava za izgaranje (Seo i sur., 2020). U novijim istraživanjima, udio koksa nije primarna analiza koja se promatra kao jedna od značajnih karakteristika određene biomase. Veća pozornost usmjerena je na udio koksa u produktima nastalim termokemijskom obradom biomase (Kamal Baharin i sur., 2020; Li i sur., 2021; Rejdak i sur., 2022). Sadržaj fiksiranog ugljika se odnosi na čvrstu frakciju ugljika koja ostaje nakon isparavanja hlapljivih komponenti prilikom zagrijavanja, gorenja ili pirolize biomase (Weber i Quicker, 2018; Ceriani i sur., 2024). Uključuje elementarni ugljik u izvornoj biomasi i sve ugljikove ostatke nastale tijekom zagrijavanja (Basu i Kaushal, 2023). Fiksirani ugljik je zapravo u svojoj osnovi ugljik, ali sadrži manje količine vodika, kisika, dušika i sumpora koji se ne odvajaju s plinovima (Sarkar, 2015), a potječe iz fotosintetske fiksacije ugljikovog dioksida. Njegov udio ovisi o udjelu hlapljivih tvari i brzini zagrijavanja i temeperaturi tijekom termokemijskih procesa (Shadangi i sur., 2023; Ceriani i sur., 2024). Udio fiksiranog ugljika koristan je parametar za procjenu određene vrste sirovine za daljnje procese pretvorbe, odnosno može doprinijeti izboru opreme koja će se korsititi za izgaranje, budući da su njegov oblik i tvrdoća pokazatelji svojstava zgrušavanja goriva, a o njegovom udjelu ovisi i prinos te brzina rasplinjavanja goriva (Sarkar, 2015; Shadangi i sur., 2023). Dušik je također nepoželjna komponenta biomase (Koppejan i Schmidl, 2022). Prisutan je u biomasi kao sastavni dio proteina, nukleinskih kiselina i dušikovih

organskih spojeva te kao takav negativno utječe na aktivnosti drugih elemenata s kojima je vezan (Jaffe, 2023). Može imati značajan utjecaj na proces izgaranja i može utjecati na ogrjevnu vrijednost i učinkovitost izgaranja sirovine. Dušik ne sudjeluje u procesu izgaranja i ne razvija toplinu te time smanjuje ogrjevnu vrijednost goriva. U osnovi je inertan, iako se endotermno veže s kisikom pri visokim temperaturama te postaje odgovoran za većinu emisija dušikovih oksida proizvedenih izgaranjem biomase (DiTommaso i sur., 2022). Veći udio dušika u biomasi znači nižu ogrjevnu vrijednost i niži udio energije, čineći sirovinu manje optimalnom za korištenje u proizvodnji energije. No baš kao i udio pepela, tako i udio dušika u različitim sirovinama značajno varira. Drvenaste biljne vrste obično imaju nizak udio dušika i pepela, dok zeljaste vrste i popljoprivredni ostaci mogu imati visok sadžaj dušika (Demirbas, 2004). Dušik se također može nalaziti u gorivu u obliku dušikovih organskih spojeva, odnosno može stvarati zagađivače kao što su dušikovi oksidi i ostali spojevi s dušikom u tragovima (NO, NO_x, NO_2, HNO_3, HCN, NH_3, NH_4, N_2O) tijekom izgaranja ili razgradnje biomase (Li i sur., 2020a). Navedeni spojevi jedni su od glavnih uzročnika onečišćenja zraka i smoga (Jenkins i sur., 1998). Kao takav negativno utječe na aktivnosti drugih elemenata s kojima je vezan. U biomasi udio dušika najčešće varira od 0,2 do 1 % (DiTommaso i sur., 2022). Visok sadržaj dušika, ali i sumpora u biomasi može dovesti do stvaranja visokoenergetskih C-N, H-N, C-S i H-S veza. Stoga je u procesima izgaranja prihvatljiviji što niži njihov udio (Mierzwa-Hersztek i sur., 2019). Provedbom određenih predtretmana poput pirolize biomase, moguće je dodatno smanjiti količine nastalih emisija dušikovih oksida i ostalih zagađujućih spojeva i plinova u procesima izgaranja. Često se upravo iz tog razloga kod procesa izgaranja, biomasa kombinira s ostalim fosilnim gorivima poput ugljena jer povećanjem količine biomase dolazi do smanjenja dušikovih oksida u usporedbi sa izgaranjem samih fosilnih goriva (Li i sur., 2020a).

Za strukturni sastav biomase u sklopu znanstvenih istraživanja, učestalo se koristi i naziv lignocelulozni sastav. Lignocelulozna biomasa je biljni materijal koji se ne koristi za hranu ili stočnu hranu i uglavnom uključuje poljoprivredne ostatke, drvenastu i zeljastu biomasu, energetske usjeve te šumske i druge ostatke poput komunalnog opada ili otpada iz industrije celuloze, papira i dr. (Xu i Li, 2017). Dok naziv strukturni sastav, govori o sastavu i strukturi biomase, pojam lignocelulozni otkriva glavne komponente lignocelulozne biomase (celulozu, hemicelulozu i lignin). Proizvedena fotosintezom iz atmosferskog iz ugljikovog dioksida i vode, lignocelulozna biomasa najzastupljeniji je obnovljivi materijal na Zemlji. Prvenstveno, kompleksnu strukturu stranične stijenke billjaka, odnosno lignocelulozne biomase čine proteini, fenolni polimeri i polisaharidi. Prostornu strukturu lignocelulozne biomase najvećim dijelom čine dva polimera ugljikohidrata odnosno celuloza - homopolimer glukoze (od 9 do 80 %) i hemiceluloza - heteropolimer pentoza i heksoza (od 10 do 50 %).

Treću komponentu lignocelulozne biomase čini aromatski polimer odnosno heteropolimeri fenolni spojevi kao što su koniferil alkohol, sinapil alkohol i P-kumaril alkohol - lignin (od 5 do 35 %) (Xu i Li, 2017; Yousuf i sur., 2020; Sahay, 2022), koji ima ulogu spajanja komponenata stanične stijenke (Brodin i sur., 2017). Navedeni udjeli zasebnih komponenta mogu se značajno razlikovati ovisno o vrsti biomase pa neki autori navode drugačije omjere udjela celuloze (od 33 do 51 %), hemiceluloze (od 19 do 35 %) i lignina (od 10 do 30 %) (Wei i sur., 2017; Das i sur., 2020). Osim što udio zasebnih komponenata lignocelulozne biomase ovisi o vrsti biomase, čak i različite faze razvoja biljke, uvjeti uzgoja, vrijeme žetve, lokacija ili klimatski uvjeti mogu utjecati na njihove udjele. Spomenute komponente (celuloza, hemiceluloza i lignin) imaju veliki utjecaj na način daljnje prerade i pretvorbe biomase (Cui i sur., 2021). Procjenjuje se da se na godišnjoj razini proizvede ok 1,3 milijarde tona lignocelulozne biomase koja bi mogla zadovoljiti oko 14 % globalnih energetskih potreba (El Bari i sur., 2024). Osim biogoriva i bioenergije, lignocelulozna biomasa ima veliki potencijal u zamjeni plastike i materijala baziranih na fosilnim resursima, u proizvodnji celuloznih vlakana, nanovlakana, lignina i biopolimera s nizom industrijskih primjena poput biokompozita, proizvoda od papira, prehrambenih aditiva, kemikalija i slično (Li i sur., 2020b). U procesima pretvorbe lignocelulozne biomase u biogoriva, mogu se primijeniti različite metode, od termokemijske pretvorbe kao što su piroliza, ukapljivanje, torefikacija, karbonizacija ili rasplinjavanje, sve do biokemijske pretvorbe koja uključuje razgradnju i fermentaciju (Mujtaba i sur., 2023). Iskorištavanje lignoceluloznih sirovina je izazovno i zahtjeva primjenu različitih predtretmana, zbog njihove složene i heterogene strukture i sastava ukoliko je željeni krajnji proizvod kemikalija, bioplastika ili neki od bioaktivnih spojeva. No, lignoceluloznu biomasu moguće je koristiti i u cijelosti bez razdvajanja na zasebne komponente u proizvodnji biogoriva i/ili kemikalija najčešće putem termokemijskih procesa poput: direktnog izgaranja, rasplinjavanja, pirolize ili drugih hidrotermalnih procesa (Deng i sur., 2023). Najčešći put termokemijske pretvorbe biomase u energiju smatra se izgaranje, prilikom čega u isto vrijeme nastaje toplina i energija (Awasth i Bhaskar, 2019). Bilo koja vrsta biomase može se spaljivati izravno za grijanje ili proizvodnju topline, što je ujedno i jedan od najpopularnijih načina pretvaranja biomase u korisnu energiju (Ameh i sur., 2024). Termokemijska pretvorba biomase, posebice proces izravnog izgaranja, blisko je vezana uz lignocelulozni sastav biomase. Visok udio celuloze u biomasi, trebao bi doprinijeti lakšem i bržem zapaljenju biomase, s obzirom na to da je celuloza primarna komponenta goriva, lako podložna termalnoj razgradnji te doprinosi nastanku zapaljivih plinova. No celuloza zapravo određuje samo temperaturu zapaljenja biomase (Wang i sur., 2020a). Baš kao i u slučaju celuloze, hemiceluloza ima tendenciju termalne razgradnje na nižim temperaturama, dok se lignin termalno razgrađuje na većem rasponu temperatura uz visok prinos biougljena te je najmanje reaktivan po pitanju otpuštanja

hlapljivih tvari. S obzirom kako lignin zapravo čini omotač oko celuloze umotane u hemicelulozu, njegov udio snažno utječe na zapaljenje i izgaranje biomase iz razloga što se najprije oslobađaju hlapljive tvari lignina, a zatim hemiceluloze i celuloze. Lignin, odnosno biougljen lignina, također daje najveći doprinos maksimalnoj temperaturi izgaranja čestica biomase (Yan i sur., 2019), a također povećava energetsku gustoću te stabilnost goriva (Wang i sur., 2020b). U nekim istraživanjima navodi se da visok udio celuloze (s niskim udjelom lignina) u biomasi dovodi do nepotpunog izgaranja biomase koja se posljedično pretvara u ugljen, dok navedeni proces ograničava razvoj topline tijekom gorenja (Dorez i sur., 2014). S druge strane, brzina reakcija za izgaranje biomase koja sadrži veći udio lignina je brža kod simultanog korištenja lignina i celuloza, što sugerira da celuloza prisutna u sirovini poboljšava karakteristike paljenja te pomaže u razgradnji lignina zbog lanaca polisaharida iz celuloze koji biomasu čine hlapljivom (Awasth i Bhaskar, 2019). U procesima izravnog izgaranja, kvaliteta biomase se najčešće procjenjuje temeljem ogrijevne vrijednosti za koju je utvrđeno da je u pozitivnoj korelaciji s udjelom lignina (Demirbas, 2002). U sustavima rasplinjavanja biomase, analiza lignina, za razliku od celuloze i hemiceluloze, pokazuje iznimno visok prinos katrana čije su komponente značajno štetnije te mogu izazvati probleme u radu sustava za rasplinjavanje biomase (Yu i sur., 2014).U procesima pirolize, veći sadržaj celuloze potiče brži proces pirolize, dok istovremeno viši sadržaj lignina značajno usporava proces pirolize. Također, veći udio lignina u procesu pirolize predstavlja veći prinos nastalog biougljena, dok se prinos katrana i plina povećava s povećanjem udjela celuloze (Lv i sur., 2010). Kod pirolize zeljaste biomase s većim sadržajem celuloze i hemiceluloze, razgradnja biomase je puno brža i stvara se veći udio plinovitih produkata. Piroliza drvenaste biomase s većim sadržajem lignina dovodi do većeg udjela čvrstih proizvoda (Wang i sur., 2020a). Iako mnoga istraživanja lignocelulozu biomasu navode kao potencijalnu sirovinu za termokemijske procese, potrebno je najprije razmotriti njabolju opciju s obzirom na svojstva biomase. Ovisno o udjelu lignocelulozih komponenata moguće je procijeniti najpoželjniju ili najmanje poželjnu opciju za daljnju pretvorbu biomase (celuloza + hemiceluloza > 65 % - biokemijska pretvorba; lignin < 10 % - anaerobna digestija) (Elbersen i sur., 2017). S obzirom na to da postoje velike razlike između rezultata provedbe pojedinih procesa pretvorbe biomase u proizvode dodane vrijednosti, toplinu ili energiju, neophodno je integrirati više sustava proizvodnje različitih komponenata iz biomase u jedan proces (bioenergija, ekstrakcija bioaktivnih spojeva i dr.) (Anwar i sur., 2014). Također, nužno je procijeniti određenu vrstu biomase bez obzira na njen izvor prije odluke vezane uz daljnje procese prerade, kako bi se postigla ekološka, tehnička i ekonomska održivost (Menon i Rao 2012; Brodin i sur., 2017).

Makro i mikro elementi, teški metali imaju značajan utjecaj na kvalitetu i sastav biomase te parametre procesa njene daljnje prerade. Određeni elementi neophodni su za

različite biološke procese poput fotosinteze, aktivacije enzima i unos hranjivih tvari, no osim navednih ponekad biljke iz tla mogu apsorbirati i elemente koji ne samo da nisu potrebni za njihov rast i razvoj već mogu biti i toksični (Marschner, 2011). Kada su prisutni u velikim količinama (100 mg/g) elementi poput aluminija, kalcija, željeza, kalija, magnezija, natrija, fosfora i sumpora, poznatiji su kao makronutrijenti/glavni elementi; kada su sadržani u malim količinama (>1 μg/g) nazivaju se mikronutrijentima poput bakra, nikla, rubidija, stroncija i cinka sporedni elementi ili oni prisutni u tragovima (<1 μg/g) mogu biti esencijalni nutrijenti u tragovima poput kobalta, kroma, selenija i vanadija, zatim netoksični elementi u tragovima poput galija i litija, toksični elementi poput arsena, barilija, berija, kadmija, cezija, helija, indija, osmija, olova, talija i uranija (Khan i sur., 2021). Same elemente prema potrebama biljaka može se svrstati u dvije različite skupine, makronutrijente koji su potrebni biljkama u relativno visokim koncentracijama i mikronutrijente koji su nužni za rast i razvoj biljaka no potrebni su im u mnogo nižim koncentracijama (Marschner, 2011). Važno je napomenuti kako biljka sama ne može sintetizirati esencijalne mineralne elemente, već ih mora apsorbirati iz tla putem korijenovog sustava (Kärenlampi i White, 2009) ili folijarno, putem lista iz zraka. Biljke zahtijevaju najmanje 14 mineralnih elemenata, zajedno s kisikom, ugljikovim dioksidom i vodom. Nedostatak bilo kojeg od ovih mineralnih elemenata inhibira normalan rast i razvoj biljaka i smanjuje prinose. Biljke mineralne elemente obično dobivaju iz tla. Šest esencijalnih mineralnih elemenata uključujući i dušik, fosfor, kalij, kalcij, magnezij i sumpor, potrebni su u značajnim količinama, dok su klor, bor, željezo, mangan, bakar, cink, nikal i molibden potrebni u manjim količinama (White i Brown , 2010). Kada je riječ o toksičnim elementima, abiotski čimbenici poput pH, temperature, redoks potencijala, kapaciteta izmjene kationa i organske tvari utječu na dostupnost takvih elemenata biljkama. Interakcije tlo-biljka-korijen-mikrobi reguliraju kretanje npr., teških metala iz tla u jestive dijelove biljke. Manji prinos biomase, kraće korijenje i izdanci, samo su neki od indikatora utjecaja teških metala na biomasu tijekom rasta. Promjene na razini stanica, tkiva i organa rezultat su međudjelovanja metala, prijenosa signala ili metabolizma. Neke biljke su poznate kao hiperakumulatori i sposobne su rasti na tlima iznimno bogatim metalima te ih akumulirati bez pokazivanja fitotoksičnih učinaka (Mukherjee, 2019), dok se određene vrste mogu koristiti kao fitoremdijatori čija struktura i fiziokemijski sastav mogu pogodovati apsorpciji teških metala iz tla (Ceriani i sur., 2024). Također, dok neki minerali mogu imati neželjene učinke na regulaciju sekundarnih metabolita, neki mogu biti uključeni u njihovu strukturu. Tako npr., teški metali poput Cd ili Cr mogu uzrokovati stres za biljku te potaknuti različite odgovore biljnog metabolizma s pozitivnim (potaknuto akumuliranje fitonutrijenata) ili negativnim rezultatom (potisnut rast, manja količina biomase) (Mukherjee, 2019). Makro i mikro elementi, teški metali uvelike mogu utjecati na onečišćenje okoliša ovisno o njiihovim koncentracijama, a čiji je sadržaj u atmosferi, vodi i tlu iz dana u dan sve veći zbog

antropogenog utjecaja (Chen i sur., 2019). Posljedično tome, vrlo lako dospijevaju u biljke, te utječu na kvalitetu i sastav biomase, kao i na parametre njene daljnje prerade. To se odnosi i na nutritivnu i funkcionalnu vrijednost biomase, kao i na njezin potencijal za pretvorbu u energiju. Kod potencijalne primjene biomase u procesima izgaranja, kao jedne od najdominantnijih termokemijska metoda za pretvorbu biomase u energiju, što zbog niske cijene, velike brzine obrade i visoke učinkovitosti procesa (posebice kada je u pitanju kogeneracija), potrebno je analizirati i udio spomenutih elemenata radi potencijalne oporabe ne samo energije, već i metala (Zha i sur., 2021). Naime, varijacije u vrsti biljnog materijala i kompleksna priroda sastava biomase iz različitih izvora predstavljaju izazove za izgaranje biomase (Yan i sur., 2024). Jedan od izazova uključuje sprječavanje daljnjeg zagađenja ekosustava (zrak, voda, tlo) nakon njihova otpuštanja u plinovitu fazu tijekom izgaranja (čija količina se povećava s rastom temperature kod procesa izgaranja). Također, osim stvaranja emisija plinovitih zagađivača i aerosola, mogu uzrokovati stvaranja naslaga ili koroziju (Chen i sur., 2019) na sustavima za izgaranje biomase ili stvarati poteškoće već kod samog projektiranja plamenika i sustava izgaranja koji bi uključivali širok raspon raznolikih sirovina (Yan i sur., 2024). Biomasa pokazuje različite karakteristike izgaranja vezane uz njen kemijski sastav (temperatura zapaljenja, struktura plamena, emisije onečišćujućih tvari), a posebno u odnosu na sadržaj minerala, mikro i makro elemenata i toksičnih metala. Smatra se da temperatura ima značajan učinak na transformaciju metala (u ostale elementarne oblike) i da je jedan od najznačajnijih faktora kinetike njihova izgaranja. Uz svojstva goriva i uvjete izgaranja, na ponašanje metala utječu i njihove elementarne karakteristike, kao što su talište i tlakovi zasićene pare (Zha i sur., 2021). Uz teške metale, klor, natrij, kalij, magnezij i silicij jedni su od najvažniji elemenata u sastavu biomase koje je nužno provjeriti kod potencijalnog korištenja biomase u procesu izgaranja. Klor može doprinijeti stvaranju korozije i štetnih emisija. Sadržaj kalija obično je niži od 0,05 % u biomasu, no može biti visok u ostacima iz drvne industrije. Također, zajedno s natrijem jedan je od glavnih minerala koji može uzrokovati sinteriranje i onečišćenje sustava za izgaranje. Iako se fosfor smatra jednim od iznimno ograničenih i vrlo skupih prirodnih resursa, njegov utjecaj na procese izgaranja je manje značajan u usporedbi s onim klora ili kalija, ali ga proces izgaranja može učiniti nepovratnim. Kalcij i magnezij pokazuju pozitivnu korelaciju s taljenjem pepela, odnosno ukoliko ih ima u biomasi u većim količinama doći će do većeg taloženja pepela na sustavima izgaranja. Svaka biljka koja se uzgaja u tlu u svojem tkivu sadržavat će i određenu količinu silicija. Biljke koje skladište značajnu količinu silicijevog dioksida u svojim nadzemnim dijelovima (silicij apsorbatori) mogu imati mnogo snažniju i kruću stabljiku, dok silicij zapravo čini primarni element odgovoran za udio pepela u biljkama, čiji veći sadržaj negativno utječe na ogrjevnu vrijednost biomase (Elbersen i sur., 2017).

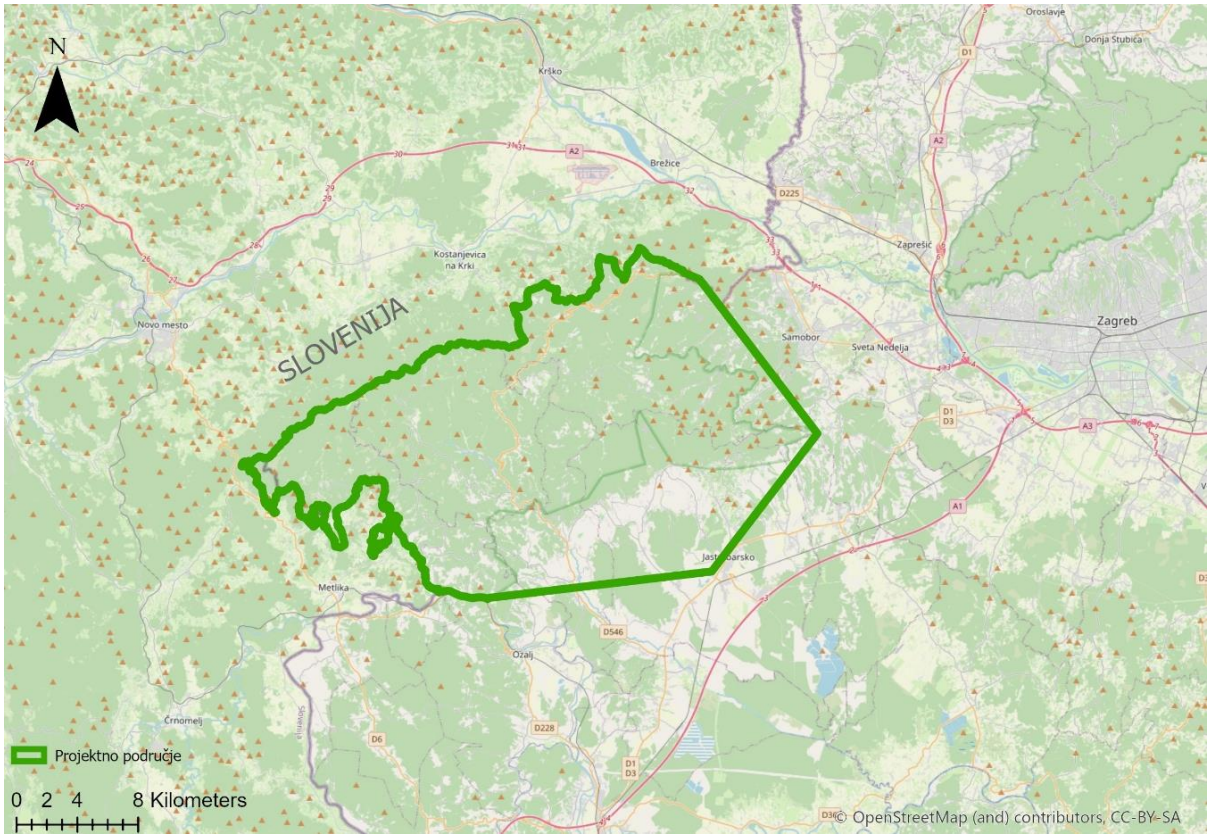
Ogrjevna vrijednost ponekad se naziva i kalorijska vrijednost ili toplina izgaranja goriva. Definirana je kao količina kalorija odnosno energije ili oslobođene topline izgaranjem kada je jedinica mase ili volumena goriva potpuno oksidirana, a određuje se pomoću adijabatskog kalorimetra (Kabe i sur., 2004; Etim i sur., 2022; Basu i Kaushal, 2023). Ogrjevna vrijednost uključuje i toplinu kondenzacije vodene pare u produktima izgaranja koji nastaju izgaranjem vodika i isparavanjem vode sadržane u gorivu. Takva ogrjevna vrijednost naziva se još i gornja ogrjevna vrijednost, za razliku od donje ogrjevne vrijednosti u koju nije uključena latentna toplina isparavanja vode (Kabe i sur., 2004). Gornja ogrijevna vrijednost je veća od donje od oko 2 do 20 %, što ovisi o udjelu vode i vodika (Yamamoto i sur., 2021). Zapravo je riječ o ukupnom sadržaju energije proizvedene u obliku topline kada tvar potpuno izgori sa zrakom ili kisikom (Etim i sur., 2022). Ogrjevna vrijednost biomase odnosi se na energetski sadržaj, odnosno količinu energije pohranjene u jedinici mase biomase i izražava se kao megadžul po kilogramu (MJ/kg) (Gupta i Mondal, 2020). Gornja ogrjevna vrijednost biomase kreće se u rasponu od 15 do 20 MJ/kg, što je puno niža vrijednost u odnosu na primjerice ugljen (od 25 do 35 MJ/kg). Ukoliko se biomasa planira koristiti kao alternativa ugljenu potrebno je povećati njenu energetsku gustoću (Chen, 2015). Uz kemijski i elementarni sastav, gornja ogrijevna vrijednost čini jedan od najvažnijih parametara kod procjene iskorištenja nekog goriva ili karakterizacije procesa izgaranja (Kiang, 2018). Od izrazite je važnosti poznavati ogrijevnu vrijednost sirovine odnosno biomase u projektnim proračunima i numeričkim simulacijama toplinskih sustava bez obzira na to kako će se biomasa dalje koristiti, u procesima izravnog izgaranja ili u procesima suspaljivanja s drugim gorivima (Sheng i Azevedo, 2005).

3. MATERIJALI I METODE RADA

3.1. Biljni materijal

3.1.1. Područje istraživanja

Područje obuhvaćeno ovim istraživanjem (Slika 3) uključuje gorsko-planinski masiv Žumberačkog gorja koji se proteže na sjeverozapadu Hrvatske uz granicu sa Slovenijom što ujedno čini granicu Parka prirode Žumberak-Samoborsko gorje. Isto tako područje istraživanja prošireno je do gradova uz sam Park prirode Žumberak-Samoborsko gorje: Samobor, Jastrebarsko, Krašić.



Slika 3. Prošireno područje istraživanja

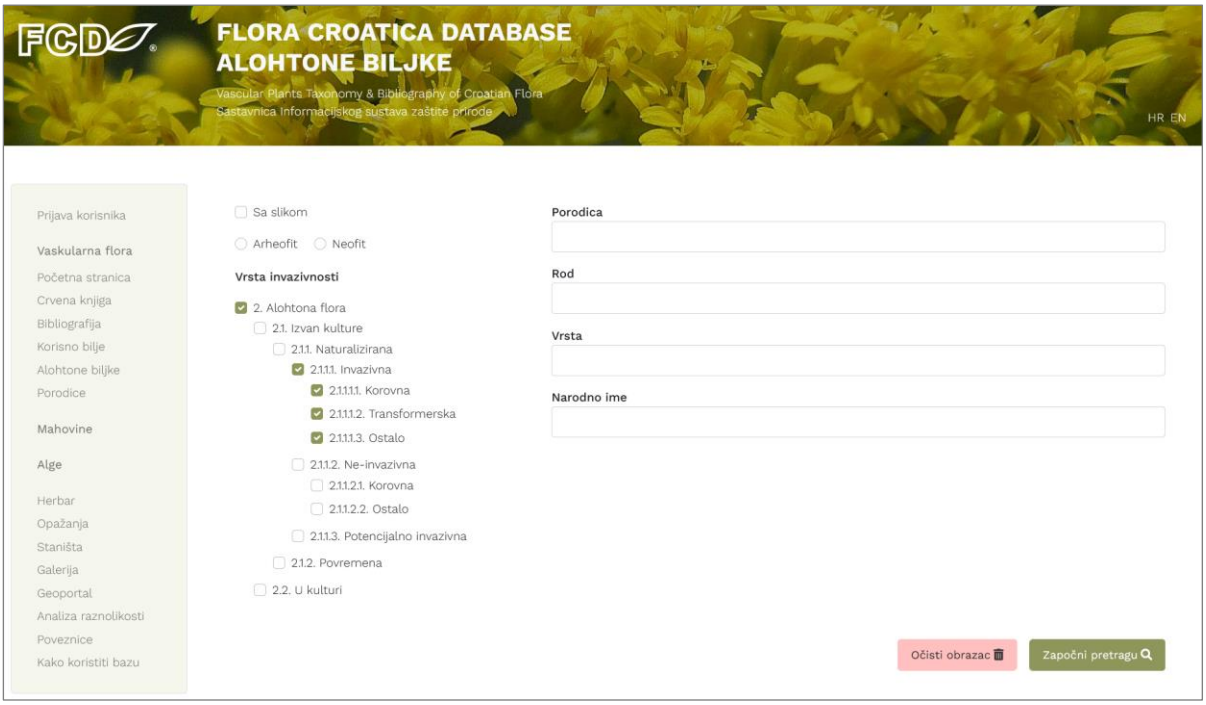
(Izvor: ESRI 2021. ArcGIS Pro 2.8.1.: Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute)

Navedeno područje odabrano je iz razloga što se u sklopu Parka prirode Žumberak-Samoborsko gorje od 2013. godine provodi sustavna inventarizacija invazivne flore (JU Park prirode Žumberak-Samoborsko gorje, 2014). Područje istraživanja podijeljeno je u MTB

(Meβtischblätter) mrežu s jedinicama površine od 1,5 x 1,45 km (MTB 1/64), slijedeći predloženi nacionalni standard za kartiranje flore (Nikolić i sur., 1998). Površina istraživanog područja iznosila je 49.673,185 ha, a sveukupno obuhvaća 269 osnovnih MTB 1/64 polja.

3.1.2. Odabir biljnog materijala

Preliminarni podaci o prisutnosti invazivnih biljnih vrsta na odabranom području korišteni su na temelju podataka Nikolić i sur., 2014, baze Flora Croatica Database-a (Nikolić, 2024) (Slika 4), internih izvještaja sustavne inventarizacije Parka prirode Žumberak-Samoborsko gorje iz 2013. (JU Park prirode Žumberak-Samoborsko gorje, 2014) i tri ljetne sezone 2016., 2017. i 2018. godine (Vitko, 2018) (Slika 5) te opažanja na terenu.



Slika 4. Baza „Flora Croatica Database“

(Nikolić, 2024; https://hirc.botanic.hr/fcd/InvazivneVrste/; pristupljeno: 08.07.2024.)

U FCD-u, odabirom modula „Alohtone biljke“ i vrste invazivnosti „Invazivna“ izdvojen je popis zabilježenih invazivnih biljnih vrsta i podvrsta u Republici Hrvatskoj (Nikolić, 2024). Iz ovog popisa vrsta izdvojene su one vrste koje su već zabilježene na području ili uz granice te naseljima uz sam Park prirode Žumberak-Samoborsko gorje (Samobor, Klinča selo, Jastrebarsko, Krašić, Ozalj).

Pretpostavka je bila da su se od trenutka bilježenja invazivnih biljnih vrsta zbog kretanja ljudi i robe na relaciji gradovi – Park Prirode navedene biljne vrste mogle proširiti i na

područje Parka prirode Žumberak-Samoborsko gorje. Ovi podaci uspoređeni su s internim izvještajima Parka prirode Žumberak-Samoborsko gorje iz 2013., 2016., 2017. i 2018. godine (JU Park prirode Žumberak-Samoborsko gorje, 2014; Vitko, 2018) (Slika 5) te je na taj način izdvojen popis vrsta i podvrsta.

DATUM	24.08.2018.	24.08.2018.	24.08.2018.	29.08.2018.	29.08.2018.	29.08.2018.	29.08.2018.	29.08.2018.	29.08.2018.	29.08.2018.	29.08.2018.	29.08.2018.	PRISUTNOST VRSTE PO MTB POLJIMA
MTB POLJE	4018	4017	4178	5070	4891	4890	4710	4709	4530	4529	4351	4528	
KOORDINATE	417483	416360	417754	422899	423503	423031	423835	422316	424057	422673	423153	421043	
	5071494	5071834	5070527	5063585	5064521	5065140	5066103	5066684	5067476	5067177	5068593	5067743	
NV / m	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
VRSTA													
Amaranthus hybridus L.													2
Ambrosia artemisiifolia L.	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	37
Asclepias syriaca L.													1
Bidens frondosa L.													1
Chamomilla suaveolens (Pursh) Rydb.								+					2
Conyza canadensis (L.) Cronquist			+	+		+	+			+		+	27
Erigeron annuus (L.) Pers.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	52
Galinsoga ciliata (Raf.) S.F.Blake			+	+				+		+		+	22
Galinsoga parviflora Cav.			+				+						11
Helianthus tuberosus L.													2
Impatiens balfourii Hooker f.								+					5
Juncus tenuis Willd.	+												3
Panicum capillare L.													2
Parthenocissus quinquefolia (L.) Planchon									+				1
Rhus typhina L.													6
Robinia pseudoacacia L.				+	+			+		+			20
Rudbeckia laciniata L.													2

SUSTAVNO_2016 | SUSTAVNO_2017 | SUSTAVNO_2018

Slika 5. Primjer sustavne inventarizacije Parka prirode Žumberak-Samoborsko gorje iz 2018. godine

(Izvor: JU Park prirode Žumberak-Samoborsko gorje, 2018)

Za svaku vrstu u bazi (FCD) navode se podaci o GPS koordinatama i opis područja gdje je određena vrsta zabilježena (Nikolić i sur., 2014). Izdvojene su vrste koje produciraju veću količinu biomase na jedinici površine što se kasnije dodatno provjeravalo okvirnom procjenom njihove biomase na terenu. Ovako analizirani podaci sa zabilježenim lokacijama potencijalnih vrsta služili su kao smjernica kod odabira, kao i prikupljanja biljnog materijala. Naime, u ovom istraživanju provedene su analize energetske i funkcionalne vrijednosti invazivnih biljnih vrsta te je stoga bilo potrebno identificirati drvenaste i zeljaste invazivne biljne vrste s područja Žumberačkog gorja koje zadovoljavaju uvjete dovoljne količine biomase za daljnje analize. Također, važno je bilo u obzir uzeti isplativost njihova korištenja, ekonomičnost troškova njihova uklanjanja, transporta i skladištenja kako bi navedeni čimbenici ostavili što manji ekološki otisak, odnosno kako bi njihova energetska bilanca i dalje bila negativna.

U svrhu daljnje selekcije invazivnih vrsta izrađena je lista kriterija prema kojima su trebale zadovoljiti slijedeće:

a) popisi i izvješća Parka prirode Žumberak-Samoborsko gorje i popis Flora Croatica o invazivnim ili potencijalno invazivnim biljnim vrstama na istraživanom području;

b) da se na pojedinoj mikrolokaciji površine 10 m x 10 m može sakupiti minimalno 2 kg svježe biomase za pojedinu vrstu koja dominira na staništu;

c) da su na pojedinoj mikrolokaciji jedinke jedne invazivne biljne vrste udaljene otprilike 1 km od jedinki iste vrste na drugoj mikrolokaciji.

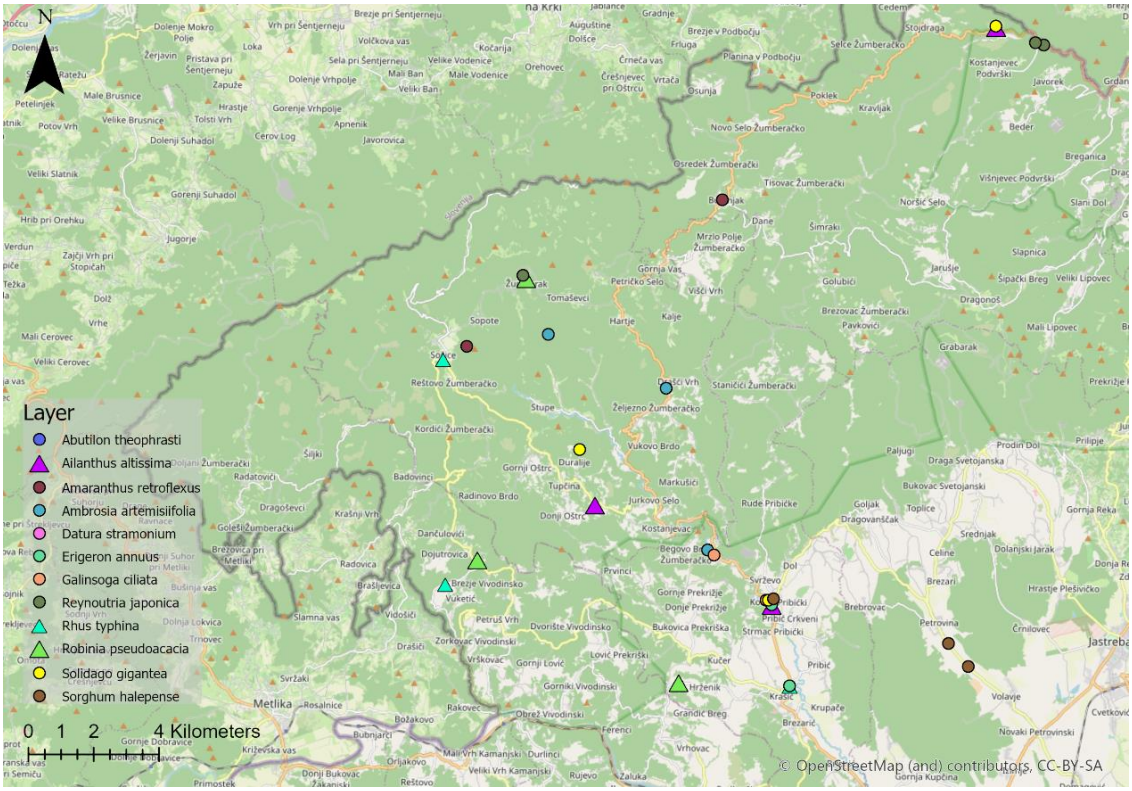
U konačnici samo one vrste koje su zadovoljile spomenute kriterije kod terenskog prikupljanja korištene su u ovom istraživanju, dok su zabilježene i sve ostale biljne vrste (Prilog II, Tablica 1) pojedine mikrolokacije.

3.1.3. Inventarizacija i prikupljanje biljnog materijala

Terenski dio istraživanja obuhvatio je 24 mikrolokacije na području Parka prirode Žumberak-Samoborsko gorje u jednoj kalendarskoj godini, od travnja do rujna 2019. godine. Svaka mikrolacija označena je kvadratom iste veličine od 10 m x 10 m. Udaljenost između mikrolokacija za dva uzorka iste vrste bila je otprilike 1 km ili više (Slika 6). Svaki kvadrat označava jednu mikrolokaciju za prikupljanje vrsta, dok veličina oblika definira količinu sakupljene biomase, prilikom čega najmanji oblik prikazuje količinu biomase od 0,5 kg, srednji od 1 kg i najveći od 2 kg. Na navedenim mikrolokacijama prikupljena je jedna ili više različitih invazivnih biljnih vrsta prema gore navedenim kriterijima, omogućujući sakupljanje najmanje 2 kg svježe tvari po vrsti.

Slika 6. Vizualizacija područja prikupljanja istraživanih invazivnih biljnih vrsta

Mikrolokacije za prikupljanje uzorka bile su odabrane nasumično, ovisno o zatečenom stanju na terenu te prijetnji koju invazivne biljne vrste predstavljaju na pojedinom području, što je zabilježeno u prethodno spomenutim izvještajima Park prirode Žumberak-Samoborsko gorje (JU Park prirode Žumberak-Samoborsko gorje, 2014; Vitko, 2018). Područje istraživanja s mikrolokacijama prikupljenog biljnog materijala invazivnih biljnih vrsta prikazano je na slici 7.



Slika 7. Područje istraživanja s mikrolokacijama prikupljenih vrsta prema GPS koordinatama (izvor: KARTA: ESRI 2021. ArcGIS Pro 2.8.1.: Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute; ANALIZA: QGIS Development Team 2020. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. http://qgis.osgeo.org; Bioportal – MTB64. Dostupno na http://www.bioportal.hr/. Bioportal – Zaštićena područja - poligoni. Dostupno na http://www.bioportal.hr/. Pristupljeno: 24.1.2023.)

Za svaku pojedinu uzorkovanu invazivnu biljnu vrstu zabilježene su GPS koordinate (Google Maps) kao što je prikazano u tablici 1.

Tablica 1. GPS koordinate prikupljenih invazivnih biljnih vrsta na području Žumberka

	Mikrolokacija 1	**Mikrolokacija 2**	**Mikrolokacija 3**
***A. theophrasti* (ABU)**	45° 41' 33.7812" N 15° 29' 24.9684" E	45° 39' 46.3716" N 15° 35' 26.8476" E	45° 40' 51.4488" N 15° 30' 49.4856" E
***A. altissima* (AIL)**	45° 40' 45.2532" N 15° 30' 47.2896" E	45° 42' 22.7412" N 15° 26' 35.0196" E	45° 50' 21.2352" N 15° 35' 55.824" E
***A. retroflexus* (AMA)**	45° 41' 33.7812" N 15° 29' 24.9684" E	45° 44' 57.9120" N 15° 23' 30.6384" E	45° 47' 26.2824" N 15° 29' 29.8608" E
***A. artemisiifolia* (AMB)**	45° 40' 49.8972" N 15° 30' 42.5268" E	45° 45' 10.8360" N 15° 25' 25.9284" E	45° 44' 18.9564" N 15° 28' 14.2284" E
***D. stramonium* (DAT)**	45° 39' 46.3716" N 15° 35' 26.8476'' E	45° 40' 49.9620" N 15° 30' 39.2364" E	45° 40' 8.9148" N 15° 34' 58.2960" E
***E. annuus* (ERI)**	45° 39' 25.2108" N 15° 31' 14.0376" E	45° 40' 45.2532" N 15° 30' 47.2896" E	45° 40' 49.8972" N 15° 30' 42.5268" E
***G. ciliata* (GAL)**	45° 41' 33.7812'' N 15° 29' 24.9684" E	45° 43' 16.7520" N 15° 26' 12.5808" E	45° 40' 49.9620" N 15° 30' 39.2364" E
***R. japonica* (REY)**	45° 50' 3.8400" N 15° 37' 3.5616" E	45° 50' 5.7660" N 15° 36' 52.3008" E	45°46'08.7492" N 15°24'48.9996" E
***R. typhina** (RHU)**	45°41'01.8120"N 15°23'04.5018"E	45° 39' 25.2108" N 15° 31' 14.0376" E	45° 44' 44.9196" N 15° 22' 56.9892" E
***R. pseudoacacia* (ROB)**	45°46'06.3140"N 15°24'53.2920"E	45°41'26.646"N 15°23'49.488"E	45°39'27.480"N 15°28'36.774" E
S. gigantea (SOL)	45° 40' 49.8972'' N 15° 30' 42.5268" E	45° 50' 21.8904" N 15° 35' 55.572" E	45° 43' 16.7520" N 15° 26' 12.5808" E
***S. halepense* (SOR)**	45° 39' 46.3716" N 15° 35' 26.8476" E	45° 40' 51.4488" N 15° 30' 49.4856" E	45° 40' 8.9148" N 15° 34' 58.2960" E

* *Rhus typhina* L. se ne nalazi na popisu invazivne već potencijalno invazivne i zabrinjavajuće flore EU. Uključena je u ovo istraživanje iz razloga što na području Park prirode Žumberak-Samoborsko gorje zbog svoje invazivnosti predstavlja prijetnju bioraznolikosti.

Osim što je prikupljeno 12 invazivnih biljnih vrsta svaka sa tri različite mikrolokacije na ukupno 24 mikrolokacije, provedena je i inventarizacija cjelokupne flore mikrolokacija (Prilog II, Tablica 1). Primjerci sakupljenih invazivnih biljnih vrsta na svakoj su lokaciji fotodokumentirani i herbarizirani. Herbarizirani primjerci pohranjeni su u ZAGR herbarij Sveučilišta u Zagrebu Agronomskog fakulteta (herbarijski listovi ID herbara od 75774 do 76132).

Inventarizacija svih biljnih vrsta uključivala je determinaciju prema uobičajenim ključevima i ikonografijama: Javorka i Csapody (1934), Bonnier (1962), Keble Martin (1972), Kovačević (1976), Kojić (1986), Domac (1994), Knežević (2006) i Nikolić (2024). Životni oblici invazivnih biljnih vrsta i njihov opis (Tablica 2) određeni su prema Garcke (1972), Hulina (1991) i Nikolić (2024), nadalje trajanje života invazivnih vrsta (Tablica 3) prema Garcke (1972), Hulina (1991) i Kovačić i sur., (2008), Nikolić (2024) kao i florni elementi (Tablica 4)

prema Garcke (1972) i nadopunjeni podacima iz radova Panjković (1990), Zima i Štefanić (2009), Dujmović Purgar (2010) te Kew (2024).

Tablica 2. Životni oblici samonikle flore

Oznaka	Životni oblik	Opis
H	Hemikryptophyta	trajnice s pupovima u razini tla koje nepovoljne uvjete preživljavaju zaštićene tlom, suhim lišćem ili vlastitim tkivom, prilagođene su klimi umjerenih i hladnih krajeva
T	Therophyta	jednogodišnje biljke koje nepovoljno razdoblje godine preživljavaju u obliku sjemena
G	Geophyta	trajnice koje nepovoljno doba godine preživljavaju u obliku lukovica, gomolja, podanka ili korijena
P	Phanerophyta	drvenaste i grmolike trajnice koje nepovoljne uvjete preživljavaju pomoću pupova na visini većoj od 25 cm iznad tla. Pupovi su zaštićeni samo ovojnim listićima pa takav životni oblik nije prilagođen na ekstremne uvjete hladnoće ili suše
Ch	Chamaephyta	drvenaste ili zeljaste trajnice koje nepovoljne uvjete preživljavaju pomoću pupova na visini manjoj od 25 cm iznad tla. Najčešće se pupovi nalaze malo iznad zemlje, zaštićeni ljuskama ili obamrlim gornjim dijelovima biljke. Niski jastučasti grmići dobro su prilagođeni ekstremnim uvjetima hladnoće i suše

Tablica 3. Trajanje života samonikle flore

Oznaka	Trajanje života
1	jednogodišnje vrste - biljke koje završavaju cijeli svoj životni ciklus (klijanje, rast, cvjetanje, stvaranje sjemena i smrt) unutar jedne vegetacijske sezone, npr., kukuruz (*Zea mays* L.)
2	dvogodišnje vrste - biljke kojima su potrebne dvije godine da završe svoj životni ciklus; prve godine rastu i razvijaju vegetativne dijelove, dok druge godine cvjetaju, stvaraju sjeme i umiru, npr., mrkva i repa
z. traj	zeljaste trajnice - biljke koje žive više godina, ali nemaju drvenastu stabljiku; tijekom zime nadzemni dijelovi odumiru, a u proljeće ponovno rastu iz podzemnih dijelova (korijena, lukovica, gomolja, podanka), npr., božur, perunika
d. traj	drvenaste trajnice - biljke koje žive više godina i imaju drvenastu stabljiku koja raste svake godine; to su drveće, grmlje i polugrmlje, npr., hrast, bor i ružmarin

Tablica 4. Florni elementi samonikle flore

Oznaka	Florni element
Adv	Strana vrsta
Circ	Biljka cirkumholartičke rasprostranjenosti
Cos	Kozmopolit ili biljka široke rasprostranjenosti
Eur	Biljka porijeklom iz Europe
Eur Af	Biljka porijeklom iz Europe i Afrike
Euras	Biljka porijeklom iz Europe i Azije
Inv	Invazivna strana vrsta
Inv (Am.)	Invazivna strana vrsta, porijeklo Amerika
Inv (Az.)	Invazivna strana vrsta, porijeklo Azija
Kult	Kultivirana vrsta

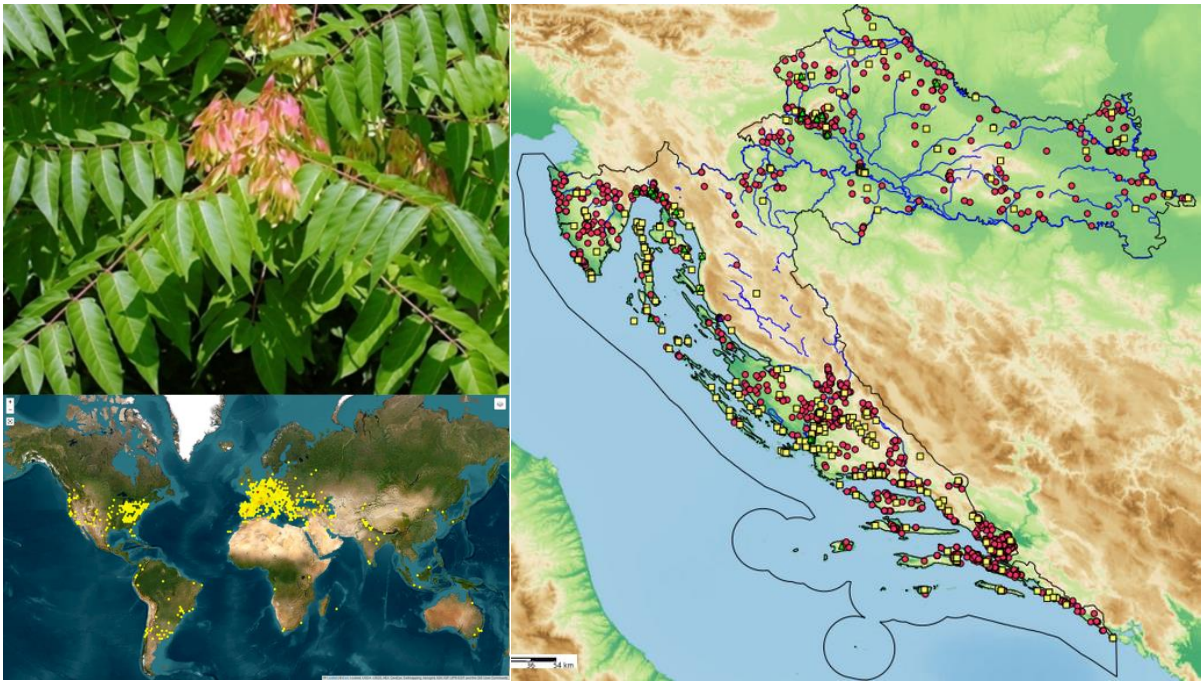
Prikupljanje uzoraka vršilo se tijekom jedne kalendarske godine i to u razdoblju od travnja do rujna 2019. godine. Prikupljanje biljaka provedeno je u ranojutarnjim satima po suhom vremenu, a prikupljeni su samo zdravi nadzemni dijelovi biljaka (stabljika i lišće bez korijena, prije faze cvatnje) i spremljeni u papirnate vreće (Melane i sur., 2017).

Biljni materijal ovog istraživanja uključivao je 12 različitih stranih invazivnih biljnih vrsta (tri drvenaste vrste, devet zeljastih vrsta), prikupljenih na proširenom području oko te unutar samog Parka prirode Žumberak-Samoborsko gorje.

3.1.4. Drvenaste invazivne biljne vrste

U nastavku teksta prikazan je opis pojedinih sakupljenih drvenastih invazivnih biljnih vrsta u sklopu istraživanja, a prilikom čega je prikazana biljna vrsta, njezina rasprostranjenost u svijetu i na području RH, kao i specifična morfološka obilježja i svojstva, ekološki čimbenici i primjena.

1) *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle, hrv. poznatiji kao žljezdasti pajasen, bogač, jelš, pajasen i rajsko stablo (Slika 8).



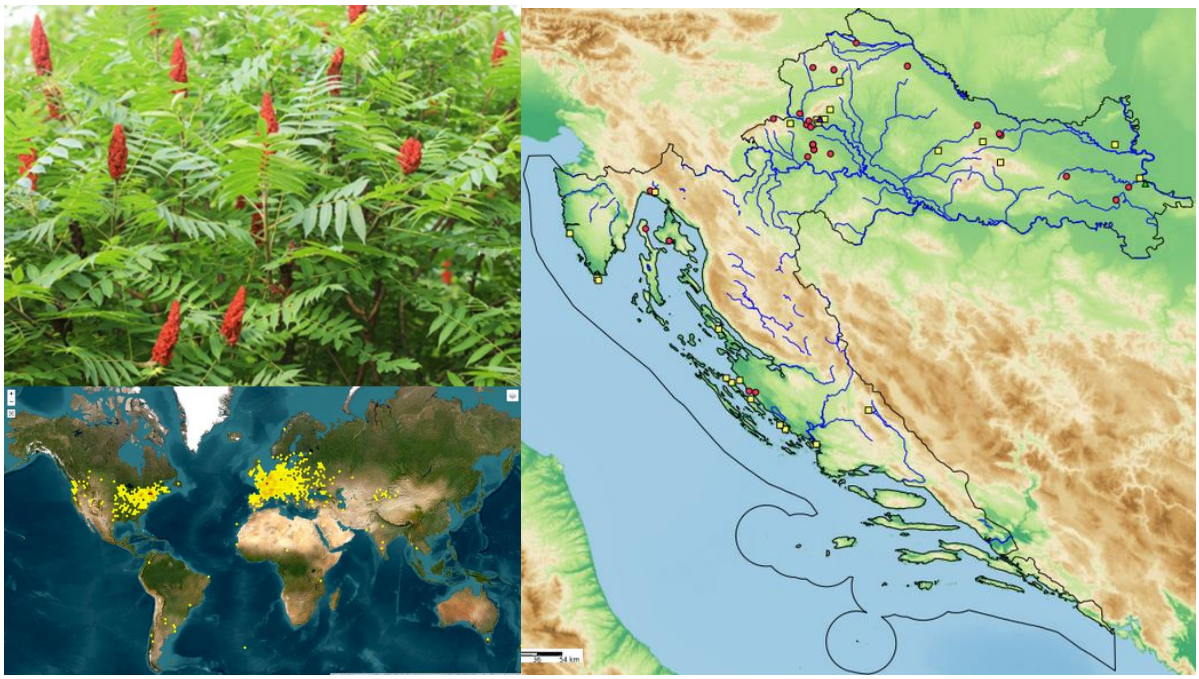
Slika 8. Žljezdasti pajasen - lijevo gore; rasprostranjenost na području HR - desno; rasprostranjenost u svijetu – lijevo dolje

(Nikolić, 2024; FCD, 2024; https://identify.plantnet.org/hr/; pristupljeno: 01.Veljače 2023)

Pajasen je u Europu unesen 1740. godine kao ukrasna biljna vrsta iz Azije. Danas se smatra jednom od najinvazivnijih vrsta stabala na svijetu i u Hrvatskoj (Novak, 2018). Lako ga se može zateći kao kultiviranu i naturaliziranu vrstu u Europi, Africi, Australiji, Novom Zelandu, SAD-u, Kanadi, Meksiku, Južnoj Americi, Azorima i Havajima (Novak i Kravrščan, 2014). U narodu je još poznat i pod nazivima: žljezdasti pajasen, bogač, jelš, pajasen i rajsko stablo (Nikolić, 2024). Tijekom 60-ih i 70-ih godina prošloga stoljeća, u Hrvatskoj se pajasen intenzivno proširio s obzirom na to da je na nekim lokacijama sađen ciljano kao vrsta koja sanira klizišta te kao ukrasna vrsta (Novak i Kravarščan, 2014; Novak i Novak, 2017). Trenutno je rasprostranjen na području cijele Hrvatske, a osim što je prisutan na zaštićenim područjima od nacionalnog značaja kao što su Nacionalni park Krka, Park prirode Biokovo,

zaštićeni krajobraz Vučine, botanički rezervat Maslinik Saljsko polje, Arboretum Trsteno te Park prirode Telašćica, nalazi se čak i na 19 hrvatskih otoka (Novak, 2018). Pajasen je egzotično i invazivno listopadno stablo iz porodice pajasena (*Simaroubaceae)* koje je sposobno rasti u različitim okolišnim uvjetima. Preferira toplija i sunčana staništa, a podnosi širok raspon temperatura okoliša te preferira propusna, prozračna i kisela tla te tla bogata dušikom (Nikolić i sur., 2014; Žuna Pfeiffer i sur., 2023). Prema prilagodbama specifičnim uvjetima okoliša može ga se svrstati u ekološku skupinu mezofita, s izraženim kserofitnim karakteristikama. Bez obzira na stanje tla i lokaciju, može narasti od 5 do 30 metara visine (Novak, 2018; Nikolić, 2024). Svjetlosive je i glatke kore s prugama, odnosno kora starenjem postaje smeđa, ispucana i izbrazdana. Neugodan miris imaju svi dijelovi biljke (i cvijet i listovi), dok otrovni sastojci u njima mogu kod ljudi i životinja izazvati kontaktni dermatitis (Novak i Kravrščan, 2011). Ova dvodomna, iznimno oportunistička, agresivna i prilagodljiva vrsta, uz brzi rast te širenje sjemenkama i korijenovim izdancima, također izlučuje i alelopatske kemijske spojeve (kojima potiskuje autohtonu vegetaciju) (Kovačić i sur., 2008). Najčešće se pojavljuje na zapuštenim oranicama, divljim odlagalištima građevinskog otpada, obradivim površinama te uz cestu, zgrade, kuće i ostale građevinske objekte (Vukojević i sur., 2012). Prvenstveno na našim prostorima, pajasen se koristio kao ukrasna vrsta te se kasnije počeo upotrebljavati u svrhu sanacija klizišta. Poznata je njegova primjena u svrhu pošumljavanja i u proizvodnji meda, u biljnoj medicini, za proizvodnju namještaja i galanteriju, dok se u Kini koristi kao građevno i alatno drvo te za proizvodnju celuloze, papira, za uzgoj svilca ili kao hrana za životinje (Vasiliki i sur., 2017). Prema Novak i Novak, (2017), pajasen je rasprostranjen u svim županijama Hrvatske. Njegovo suzbijanje izrazito je teško i zahtjevno, posebice zbog njegove sposobnosti regeneracije i mogućnosti prilagodbe različitim tipovima tla, a pritom je najbolje korstiti kombinaciju mehaničkih i kemijskih mjera suzbijanja (Kovačić i sur., 2008; Novak i Kravrščan, 2014).

2) ***Rhus typhina* L.** *, poznat pod nazivima ruj, kiseli ruj, runjavi ruj ili rujevina kisela (Slika 9).

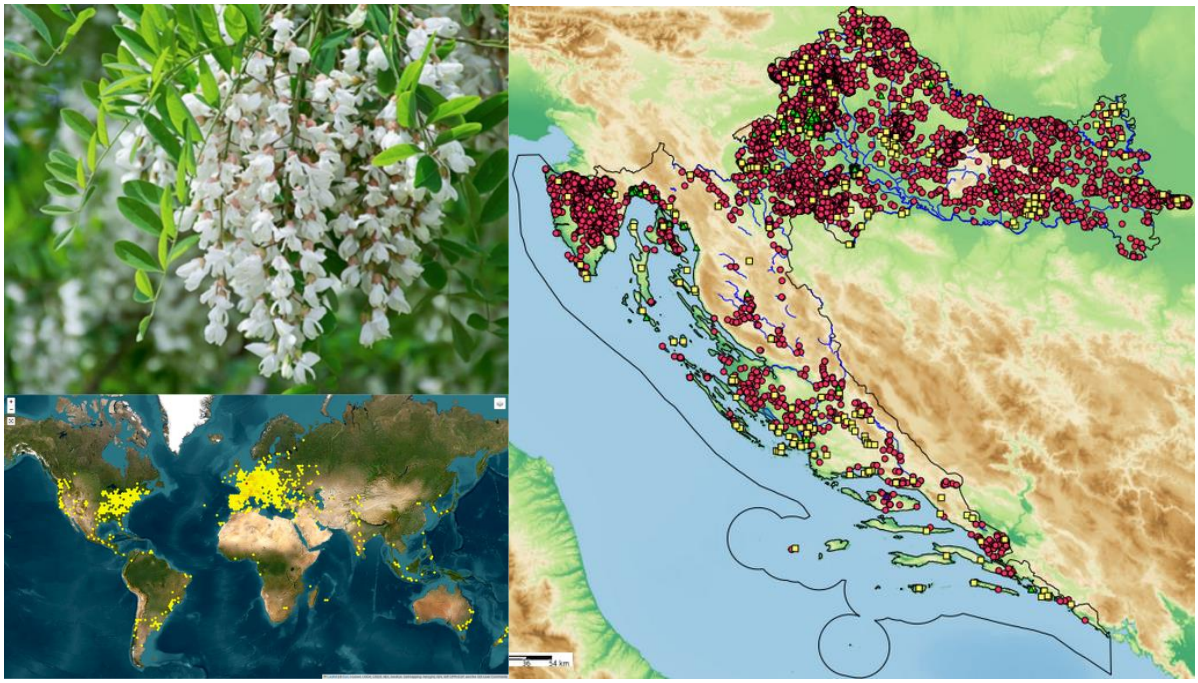


Slika 9. Ruj - lijevo gore; rasprostranjenost na području HR - desno; rasprostranjenost u svijetu – lijevo dolje
(https://www.thetreecenter.com/; FCD, 2024; https://identify.plantnet.org/hr/; pristupljeno: 01.Veljače 2023)

Ruj je vrsta koja pripada porodici vonjača (*Anacardiaceae*). Nativno raste u Sjevernoj Americi, dok je u Europu unesen u 17. stoljeću gdje predstavlja udomaćenu ukrasnu vrstu. Ruj je listopadno stablo koje često raste kao grm i doseže visine od 3 do 10 metara (Lai i sur., 2014). Prepoznatljiv je po perasto složenim listovima kakve ima i pajasen te tamnocrvenim uspravnim grozdovima. Krošnja ruja je široka, dok su mladi izboji tamnocrvenkasti, debeli i obrasli gustim dlakama. Listovi su naizmjenični, dugi do 50 cm.Cvjetovi su crvene boje, sabijeni u stožastim cvatovima dužine od 10 do 20 cm, dok su plodovi malene crvene bobe skupljene u grozdove (Wang i Zhu, 2017). Vrijeme cvatnje proteže se kroz svibanj i lipanj, a što se tiče razmnožavanja, ruj se može samostalno razmnožavati sjemenom, korijenovim reznicama i izdancima te ima tendeciju daljnjeg širenja, a zbog čega predstavlja opasnost kao invazivna vrsta, iako na području Hrvatske još uvijek nije registriran kao takva. Sposoban je tolerirati različite uvjete tla i vlažnosti (mezofit), te pokazuje otpornost na sušu, odnosno uspijeva rasti na suhim i siromašnim tlima, a često se sadio za sprječavanje naleta vjetra ili kao ukrasna vrsta (Zhang i Yan, 2016). Poznat je i kao vrsta koja tolerira gradska onečišćenja

zraka. Intenzivno se uzgaja u slične svrhe i u Sjevernoj Kini, posebice na područjima koja nisu pogodna za poljoprivrednu proizvodnju. U literaturi se spominje kako se kroz povijest ova vrsta koristila kao prehrambena (priprema napitaka ili začina) i ljekovita zbog uočene antimikrobne i antioksidativne djelatnosti njegovih ekstrakta (Lai i sur., 2014). Neke vrste iz iste porodice su otrovne odnosno sadrže alergen urushiol te mogu izazvati teške alergijske reakcije. Otrovni ruj se može prepoznati po bijelim koštunicama, koje se prilično razlikuju od crvenih koštunica ove vrste (Iram i sur., 2020). Ruj se spominje kao vrsta s velikim potencijalom u alternativnoj medicini odnosno kao dostupan prirodni izvor spojeva biljnog podrijetla koji sprječavaju bolesti uzrokovane oksidativnim i upalnim procesima kao što su npr. taninini iz skupine polifenola (Olchowik-Grabarek i sur., 2017; Wang i Zhu, 2017). Značajno je spomenuti da su takvi spojevi zamijećeni u skoro svim dijelovima biljke kiselog ruja, te imaju različito djelovanje (antioksidativno djelovanje – drvo, list, plod; antitumorsko djelovanje – drvo, citotoksično djelovanje za stanice raka – plod; antimikrobno djelovanje – plod, list; protuupalno djelovanje – plod) (Wang i Zhu, 2017).

3) *Robinia pseudacacia* L., poznat i pod nazivima obični bagrem, mirisavi bagrem, krunčica, nerod, prženica, nerodik, bagrema, kapinika, trnjina (Nikolić, 2024) (Slika 10).



Slika 10. Bagrem - lijevo gore; rasprostranjenost na području HR - desno; rasprostranjenost u svijetu – lijevo dolje

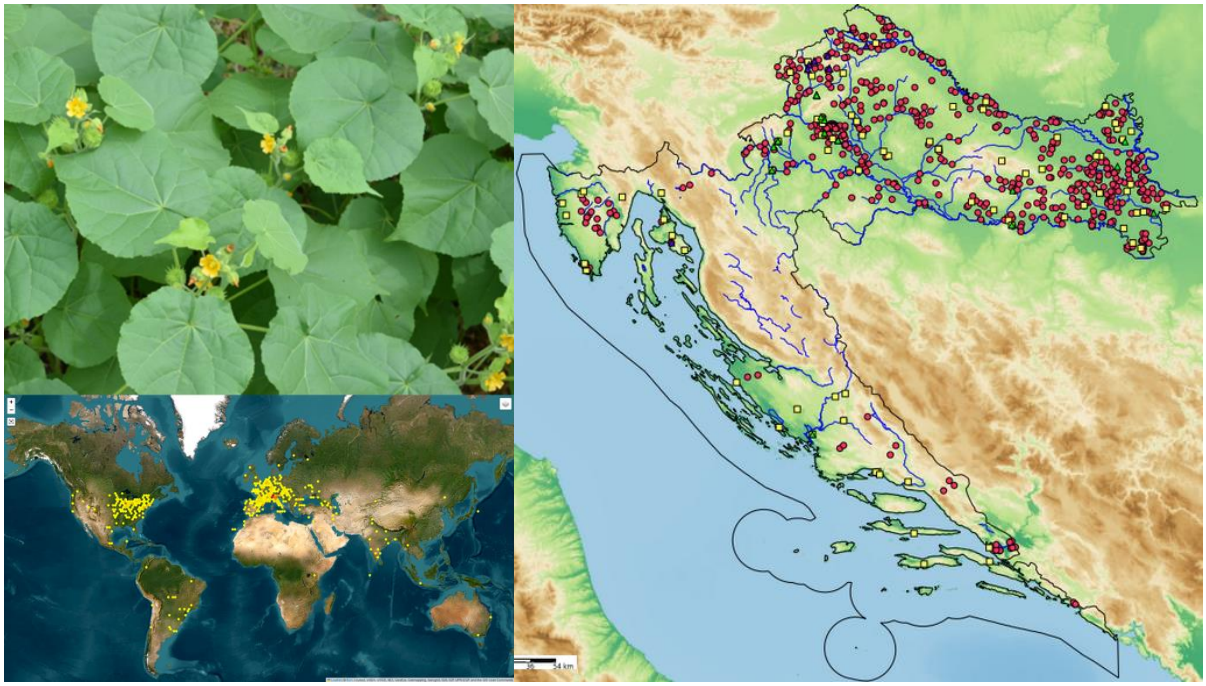
(https://www.gardenia.net/, Nikolić, 2024; https://identify.plantnet.org/hr; pristupljeno: 01.Veljače 2023)

Obični bagrem listopadno je drvo iz porodica mahunarki (Fabaceae). Najpoznatiji je kao cijenjena medonosna biljna vrsta, no istodobno je i nepoželjna invazivna vrsta s brojnim negativnim učincima na staništa koja zaposjeda i potiskivanja autohtonih vrsta i (Nikolić i sur., 2014). Bagrem je unesen na područje Europe iz istočnog dijela Sjeverne Amerike početkom 17. stoljeća, no danas je ova biljna vrsta proširena po cijelome svijetu (Dorbić i sur., 2017). Bagrem je vrsta koja naraste do visine od 25 do 30 metara s glatkim, lomljivim i trnovitim granama te razgranatom i rijetkom krošnjom. Deblo je promjera do 50 cm, a kora je kod mladih biljaka glatka i smeđa, dok kasnije postane duboko uzdužno izbrazdana. Korijenje ima mogućnost vrlo brzog i gustog, ali plitkog rasta, uz mogućnost fiksacije atmosferskog dušika (Nikolić i sur., 2014). Prilagodljiv je različitim okolišnim uvjetima i staništima (mezofit). Glavni razlozi uzgoja bagrema jesu: brz rast, vrijedno i otporno drvo (na vodu i trulež) za daljnu obradu ili za ogrijev, pogodnost za melioraciju, rekultivaciju narušenih područja i kontrolu erozije, pošumljavanje, dobar je izvor nektara za proizvodnju meda te u novije vrijeme za proizvodnju dendromase (Vítková i sur., 2017; Rédei i sur., 2008). Najčešće se širi uz rubove prometnica i željezničkih pruga, na zapuštenim poljoprivrednim površinama, parkovima, šumskim rubovima i kamenjarima (Grlić, 2005; Nikolić i sur., 2014). Svojim daljnjim širenjem predstavlja značajnu prijetnju, posebice na suhim i polusuhim travnjacima, najbogatijim i najugroženijim tipovima staništa (zaštičena područja poput strogih rezervata, nacionalnih parkova, posebnih rezervata, parka prirode, regionalnih parkova, spomenika prirode, značajnih krajobraza i dr., (MINGOR, 2020) uzrokujući potiskivanje mnogih ugroženih biljnih, ali i životinjskih vrsta poput beskralješnjaka (Vítková i sur., 2017).

3.1.5. Zeljaste invazivne biljne vrste

Kao i za drvenaste invazivne biljne vrste, u donjem dijelu teksta prikazane su pojedine sakupljene zeljaste invazivne biljne vrste uz opis, prikaz vrste, raspostranjenost, morfološka svojstva i mogućnosti primjene.

1) ***Abutilon theophrasti* Medik.**, ili teofrastov mračnjak, konoplja duga, konopljika duga, sljez veliki, žutošljez, mračnjak pusteni – sve su to nazivi kojima se često naziva ovu vrstu (Nikolić i sur., 2014) iz porodice sljezova (*Malvaceae*) (Slika 11).



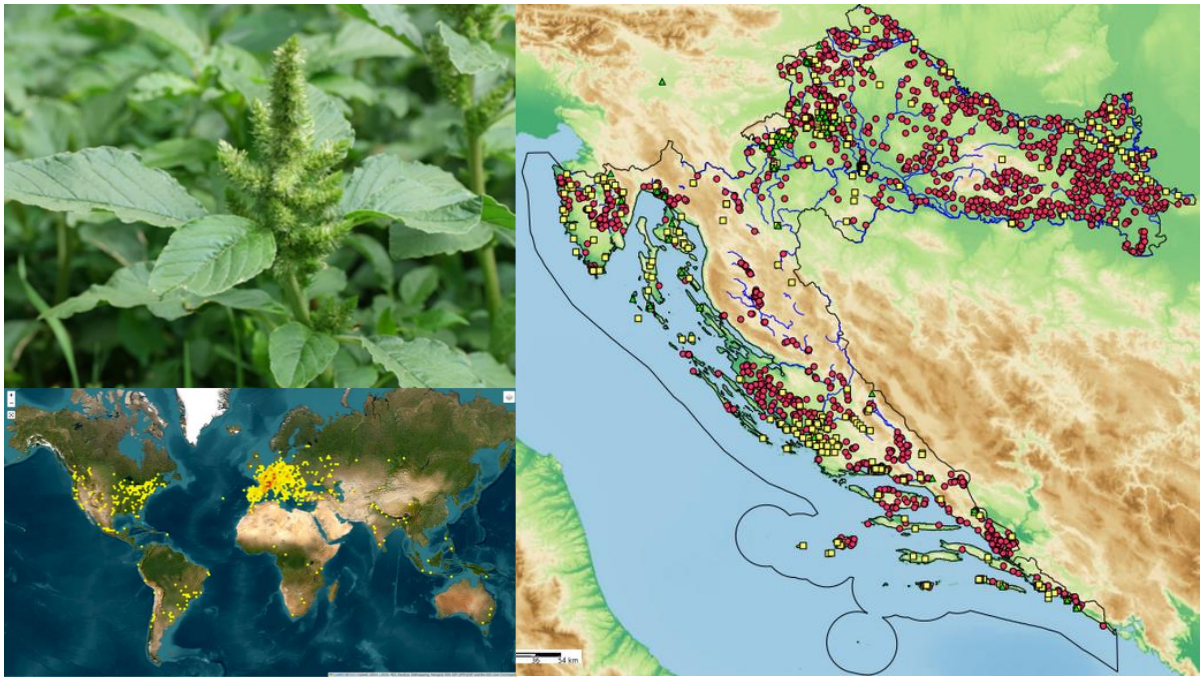
Slika 11. Teofrastov mračnjak - lijevo gore; rasprostranjenost na području HR - desno; rasprostranjenost u svijetu – lijevo dolje

(https://illinoisbotanizer.com/; Nikolić, 2024; https://identify.plantnet.org/hr/, 2023; pristupljeno: 01.Veljače 2023)

Teofrastov mračnjak prirodno potječe iz područja srednje i istočne Azije (Kina, Tibet) gdje se koristio za proizvodnju vlakna, ali i za proizvodnju lijekova te u ukrasne i mnoge druge svrhe (Spencer, 1984; Hassan i sur., 2021). Korištenje biljne vrste teofrastov mračnjak spominje se u literaturi u proizvodnji užadi, bojila od jute, lijekova, prostirki, tkanina za omatanje, maramica, grubih tkanina, cigaretnog papira, gume, tkanina ili pasta za cipele. Nadalje, različiti dijelovi biljke (lišće, stabljike, korijenje i sjemenke) koristili su se za liječenje raznih bolesti poput čira, gonoreje, kašlja, upale srednjeg uha, gihta (Hassan i sur., 2021). Teofrastov mračnjak je unesen na područje Novog svijeta kao potencijalni usjev pri proizvodnji vlakana za američke kolonije (Spencer, 1984). Smatra se udomaćenom vrstom u većem dijelu Europe te u sjevernoj Africi, Australiji i Sjevernoj Americi. Teofrastov mračnjak jednogodišnja je zeljasta biljka, obično visoka od 0,5 do 1 metar, no može dosegnuti visinu od čak 2 do 5 metara (Hassan i sur., 2021; Nikolić, 2024). Stabljika je uspravna i razgranata u gornjem dijelu te dlakava, baš kao i listovi srcasto-okruglastog oblika koji su ušiljeni na vrhu. Cvate kroz srpanj i kolovoz, a oprašuje se kukcima dok se iz plodnice razvijaju kružno poredani višesjemeni dlakavi i kljunasti merikarpi do otprilike 2,5 cm u promjeru. Jedna jedinka može proizvesti 700 – 17 000 sjemenki koje zadržavaju klijavost i do 50 godina (Nikolić i sur., 2014). Teofrastov mračnjak opasan je i agresivan korov, raste u umjereno vlažnim uvjetima, a pojavljuje se na antropogenim i ruderalnim staništima, a posebice na poljoprivrednim

površinama (mezofit). Najčešće ga se kao korovnu vrstu spominje kod uzgoja žitarica, kukuruza ili soje (Rojas-Sandoval, 2022) na čiju se kontrolu i uklanjanje godišnje troše stotine milijuna dolara samo u SAD-u, a zapažene su štete i na području Europe. Ova je vrsta vrlo kompetitivna posebice za svjetlost i vodu s usjevnom biljkom, a dodatno alelokemikalijama koje luči umanjuje rast drugih vrsta u neposrednoj blizini (Nikolić i sur., 2014). Često iz tog razloga nadmaši rast usjeva što u konačnici rezultira smanjenim prinosom uzgajane poljoprivredne kulture. Gubici prinosa uvelike variraju ovisno o vrsti usjeva, gustoći korova i uvjetima okoliša, a iz godine u godinu uzrokuje sve veće štete s obzirom na to da je postao relativno tolerantan na mnoge herbicide (Ethridge i sur., 2023).

2) ***Amaranthus retroflexus* L.**, oštrodlakavi šćir (Slika 12), poznat i pod nazivima: hrapavi šćir, šćir, šćirenica i štir, prirodno je rasprostranjen na području Sjeverne Amerike, no danas je raširen po cijelome svijetu (Nikolić i sur, 2014; Nikolić, 2024).



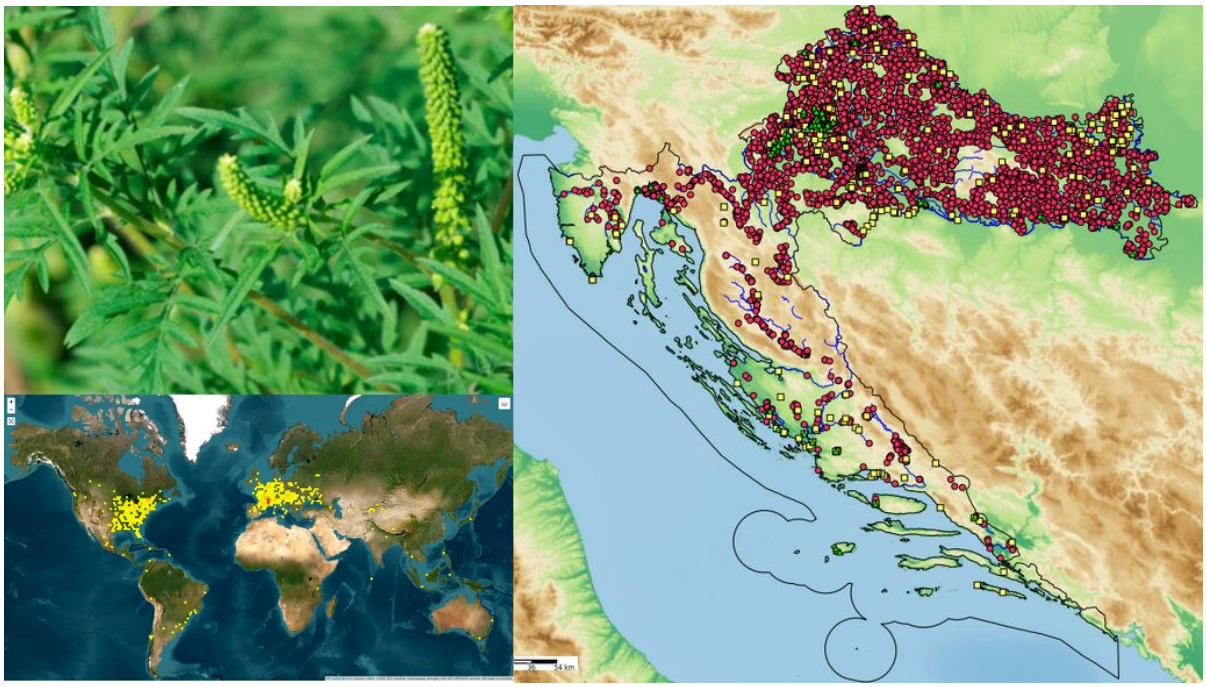
Slika 12. Oštrodlakavi šćir - lijevo gore; rasprostranjenost na području HR - desno; rasprostranjenost u svijetu – lijevo dolje

(https://plantsam.com/; Nikolić, 2024; https://identify.plantnet.org/hr/, 2023; pristupljeno: 01.Veljače 2023)

Oštrodlakavi šćir je strana invazivna biljna vrsta, koja je prvi puta uočena još 1842. godine u poljima Dalmacije (Nikolić i sur., 2014). Smatra se jednim od najproblematičnijih poljoprivrednih korova u Europi. Oštrodlakavi šćir jednogodišnja je zeljasta biljka iz porodice (Amaranthaceae), uspravne stabljike koja raste od 15 do 100 cm visine. Listovi su

svjetlozelene boje, naizmjenični, ovalni, rombični ili duguljasti dok su cvjetovi jednospolni, jednodomni, mali, zeleni, skupljeni u guste i razgranate klasaste cvatove od kojih je vršni klas najduži (Nikolić i sur., 2014). Biljka cvate od lipnja do kolovoza, dok plod čini naborani, kožičast i spljošten oraščić koji sadrži jednu crnu i sjajnu sjemenku. Takvih plodova po jednoj biljci može biti od 1000 do 5000, no kada raste u odgovarajućim uvjetima, može ih biti i više od milijun. Klijanje sjemena je nepredvidivo (Bürki i sur., 2001) iako se navodi da sjemenke zadržavaju sposobnost klijanja i do 40 godina. Snažan i agresivan rast i proizvodnja alelokemikalija omogućuju ovoj vrsti da se izbori protiv drugih biljaka (snažno je kompetitivna) čime značajno smanjuje prinos i kvalitetu usjeva (Mandák i sur., 2011). Preferira antropogena staništa, a prilagođen je različitim no umjerenim uvjetima tla i vlažnosti (mezofit), dok se njačešće javlja na poljoprivrednim površinama. Predstavlja opasnost kod uzgoja kukuruza, šećerne repe, krumpira, sirka, suncokreta, soje, povrća, voćaka i vinove loze. Osim gubitaka usjeva uzrokovanih konkurencijom, sekundarni je domaćin europskog kukuruznog moljca *Ostrinia nubilalis* Hübner i potencijalni domaćin drugim kukcima i biljnim štetnicima (Bürki i sur., 2001). Intenzivna uporaba pojedinih herbicida dovela je do razvoja rezistentnih populacija ovog korova diljem svijeta (Bürki i sur., 2001; Pannacci i sur., 2020). Oštrodlakavi šćir također je jedan od glavnih izvora alergene peludi u umjerenim područjima. Polkalcin je dobro poznati panalergen uključen u unakrsnu reaktivnost između različitih biljaka. Zabilježeno je da je pelud iz obitelji Amaranthaceae glavni izvor polinoze u Sjedinjenim Američkim Državama, Europi i Aziji (Moghaddam i sur., 2019).

3) ***Ambrosia artemisiifolia* L.**, ambrozija poznata i pod nazivima partizanka, pelinolisni limundžik i obični limundžik (Nikolić, 2024) (Slika 13).

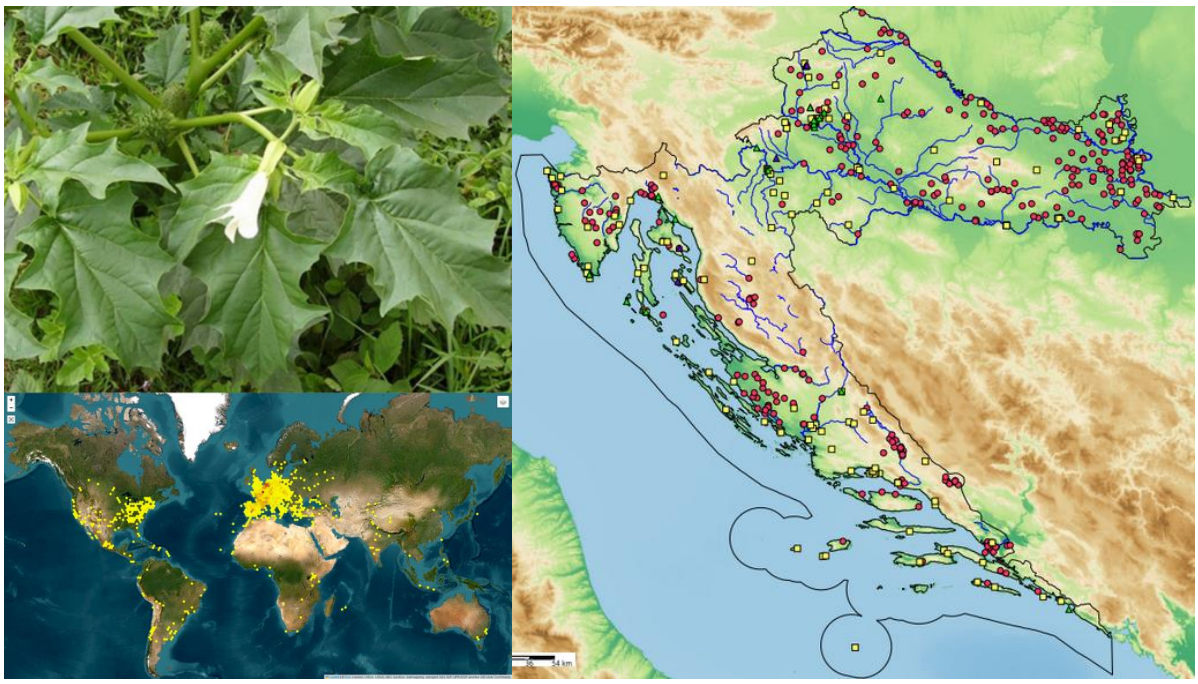


Slika 13. Ambrozija - lijevo gore; rasprostranjenost na području HR - desno; rasprostranjenost u svijetu – lijevo dolje
(https://imaginary.abcmedia.no/; Nikolić, 2024; https://identify.plantnet.org/hr/, 2023; pristupljeno: 01.Veljače 2023)

Ambrozija je česta neautohtona i problematična vrsta na svim kontinentima, dok je na područje Europe i Hrvatske uvezena u 19. stoljeću iz Sjeverne Amerike. Prvi je puta službeno dokumentirana 1941. godine u okolici Pitomače zbog čega je poznata i pod nazivom partizanka (Lemke i sur., 2021). Riječ je o jednogodišnjoj zeljastoj biljci iz porodice glavočika (Asteraceae) koja može narasti i više od 150 cm. Ima plitki vretenasti korijen i uspravnu dlakavu, četverobridnu stabljiku koja je bogato razgranata u gornjem dijelu. Svjetlozeleni, mekani i dlakavi listovi jajastog oblika raspoređeni su nasuprotno. Ambrozija je jednodomna biljka koja ima muške i ženske cvjetove smještene u odvojenim cvatovima. Cvjetovi su grupirani u cvatne glavice na vrhu stabljike. Ambrozija cvate od lipnja pa sve do listopada. Muški cvjetovi stvaraju velike količine peludnih zrnaca koji se mogu zračnim strujama kretati i do preko 300 km od domicilne biljke. Jedna biljka godišnje proizvede do 6000 sjemenka koje zadržavaju klijavost i do 30 godina (Nikolić i sur., 2014). Ambrozija se najbolje razvija u uvjetima punog osvjetljenja, ali podnosi i slabije osvjetljena staništa, a pritom je i jako kompetitivna vrsta koja se može svrstati u kategoriju ruderalnih mezofita. Obrasci njene prostorne distribucije usko su povezani s ljudskim aktivnostima, posebno s prometnim

koridorima pri čemu željeznički ili cestovni promet vjerojatno funkcioniraju kao glavni vektori širenja. Razumijevanje invazije ambrozije vrlo je važno budući da ova vrsta ima visoku stopu proizvodnje visoko alergene peludi te su njeni sekundarni metaboliti identificirani kao alergeni za respiratorne organe, a time su i prijetnja ljudskome zdravlju. Također, uočen je značajan utjecaj ambrozije na poljoprivredne ekosustave te se smatra važnim poljoprivrednim korovom (Lemke i sur., 2021). Osim toga, poznat je i njen alelopatski utjecaj na usjeve kao što su lucerna, ječam, kukuruz, salata, rajčica i pšenica, pa čak i na druge korovne vrste. S obzirom na sve navedeno, u tijeku su istraživanja koja ispituju mogućnost njene daljnje upotrebe u razvoju ekološki prihvatljivih bioherbicida što bi umanjilo opterećenje okoliša i negativne nuspojave povezane sa sintetskim kemikalijama te posljedično pridonijeli održivom upravljanju korovnim vrstama, čime bi se općenito dao i značajan doprinos na održivi razvoj poljoprivrede (Han i sur., 2021).

4) ***Datura stramonium*** **L.** (Slika 14), poznata je pod nazivima bijeli kužnjak, bielocvjetni kužnjak, bivolčići, bodeća jabuka, pasja jabuka, bršor, datura, kužnjak, maslak, pomoćnica smrdljiva, smrdac, tatula i dr. (Nikolić, 2024).



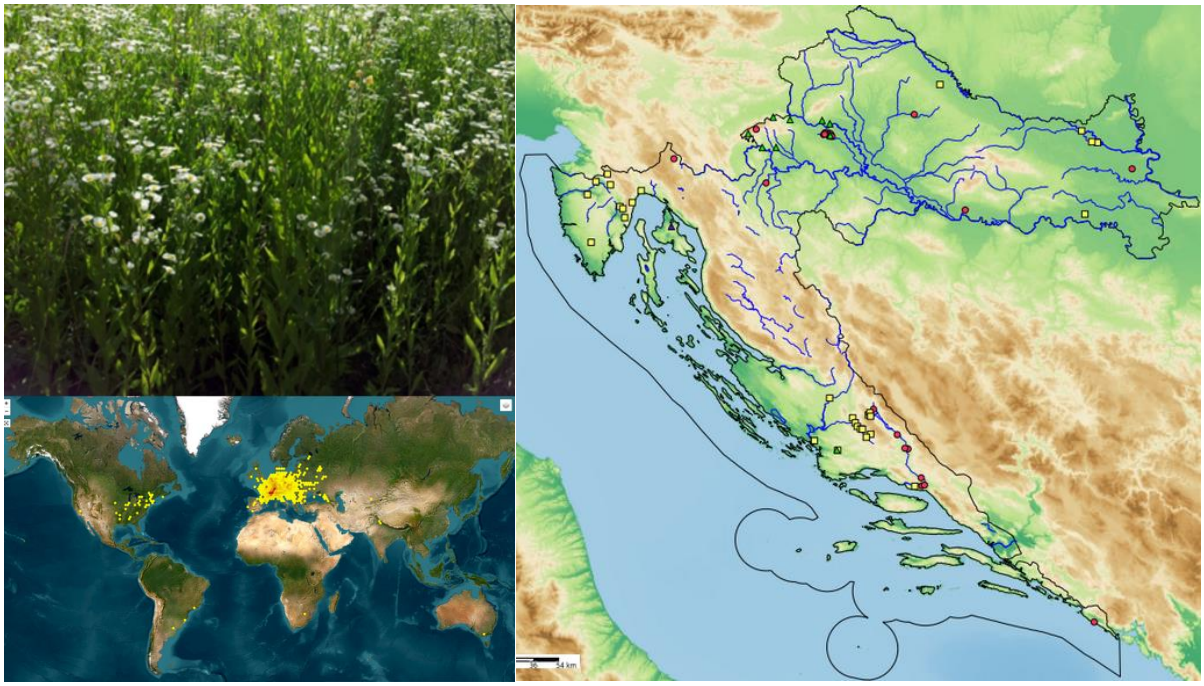
Slika 14. Datura - lijevo gore; rasprostranjenost na području HR - desno; rasprostranjenost u svijetu – lijevo dolje

(https://portal.wiktrop.org/; Nikolić, 2024; https://identify.plantnet.org/hr/, 2023; pristupljeno: 01.Veljače 2023)

Ova vrsta pripada porodici pomoćnica (Solanaceae) (Nikolić, 2024). Datura prirodno potječe iz Azije ili Srednje Amerike (Gaire i Subed, 2013; Nikolić i sur., 2014), a u Europu je

unesena kao ukrasna biljka još u 15. stoljeću. Na području Hrvatske prvi puta je zabilježena u južnoj Dalmaciji 1847. godine. Smatra se da su za njeno širenje po čitavoj Europi odgovorni Romi koji su njene sjemenke koristili za gatanje. Datura je jednogodišnja zeljasta, uspravna i biljna vrsta neugodna mirisa koja doseže visinu od 50 do 200 cm. Ima nasuprotne, jajolike listove, grubo nazubljene i šiljastog vrha. Cvjetovi su višesimetrični, krupni i trubastog oblika, a stvaraju se u pazušcima listova. Cvate od lipnja do listopada, a oprašuje se kukcima ili samooprašivanjem. Plod čini jajolik uspravan tobolac veličine od 3 do 7 cm, gusto prekriven tankim bodljama duljine do 1,5 cm koji je u početku zelene boje, no dozrijevanjem postaje smeđi. Tobolac sadrži četiri pretinca koji se otvaraju pravilnim pucanjem, a u njima sadrži brojne male sjemenke. Jedna biljka može proizvesti do 20000 sjemenki koje zadržavaju klijavost i do 40 godina (Nikolić i sur., 2014). Vrlo je čest korov, osobito u toplim i umjerenim regijama svijeta (mezofit), a najčešće se nalazi uz ceste i uz područja bogata stajskim gnojem, na smetlištima i ruderalnim područjima Europe (Mohammed i sur., 2021). Lako preživljava velike varijacije u klimatskim uvjetima, a sjeme proizvodi čak i u sušnim uvjetima uz ograničenu dostupnost vode. Sve navedeno sugerira kako ova vrsta ima visoki potencijal invazije na nova područja, čak i u nepovoljnim (stresnim) okolišnim uvjetima, a što u konačnici doprinosi značajnim gubicima u poljoprivrednoj proizvodnji usjeva. Ima kratku vegetativnu fazu, karakterizira je brzi rast te može zasjeniti okolna područja kako bi nadvladala konkurentne vrste. U poljoprivrednim sustavima čest je korov koji se nalazi na poljima soje i u usjevima kao što su krumpir, rajčica, duhan i paprika (Chadha i sur., 2020). Njeni halocinogeni učinci poznati su već stotinama godina. Svi dijelovi biljke toksični su za ljude, stoku, konje, mazge i kokoši, a najveće količine toksina (alkaloida) sadrže sjemenke. Za toksine ove biljne vrste ne postoji antidot (protuotrov) (Forrester, 2006). Fitokemijske analize dosadašnjih istraživanja pokazale su da sadrži alkaloide, saponine, tanine, steroide, flavonoide, fenole i glikozide. Tradicionalno se koristila u antiepileptičke, antiastmatične, analgetske, antioksidativne, antimikrobne, insekticidne, repelentne i organofosfatne svrhe, no u strogo propisanim uvjetima (Al-Snafi, 2017).

5) ***Erigeron annuus*** **(L.) Pers.**,poznat pod nazivima jednogodišnja krasolika ili krasolika, jednogodišnja je zaljasta biljna vrsta koja spada u porodicu glavočika (Asteraceae) (Slika 15).

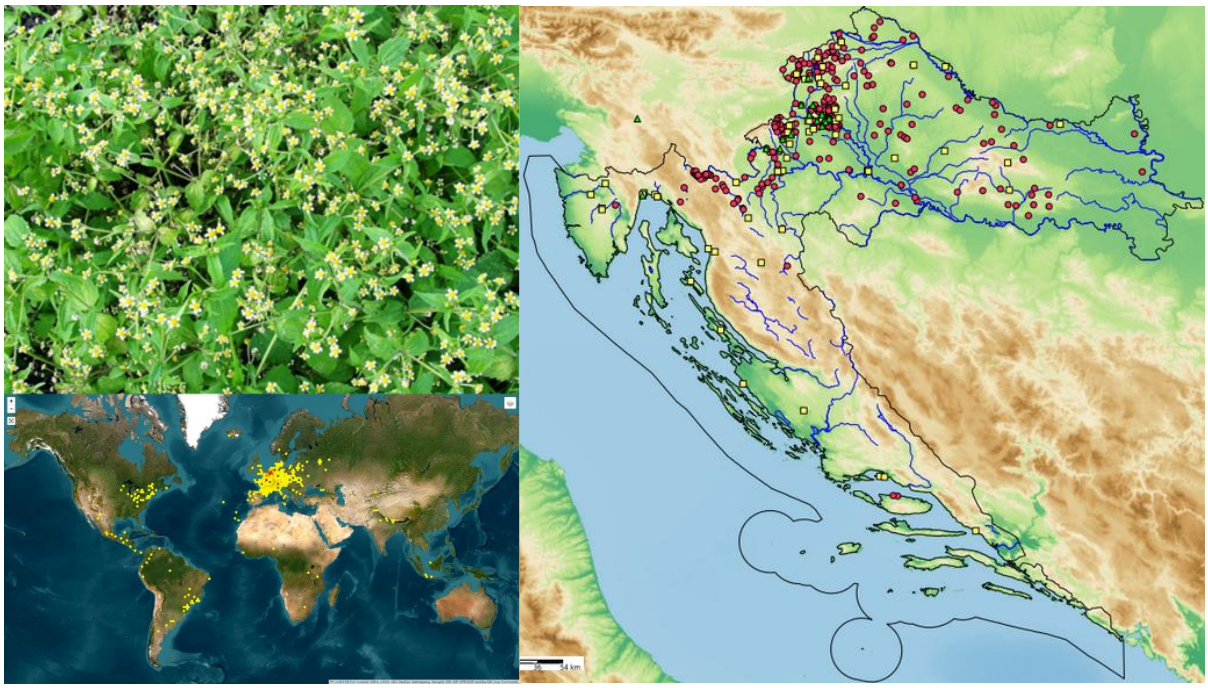


Slika 15. Jednogodišnja krasolika - lijevo gore; rasprostranjenost na području HR - desno; rasprostranjenost u svijetu – lijevo dolje
(https://onlinelibrary.wiley.com/; Nikolić, 2024; https://identify.plantnet.org/hr/, 2023; pristupljeno: 01.Veljače 2023)

Porijeklom je iz Sjeverne Amerike, a unesen je u Europu u 17. stoljeću kao ukrasna vrsta. U Hrvatskoj je prvi puta zabiježena 1857. godine na području Zagreba, Moslavine i Slavonije (Nikolić i sur., 2014; Soare i sur., 2022). Krasolika je zeljasta biljna vrsta koja doseže visinu do 150 cm, razgranate stabljike s vretenastim korijenom. Njeni su listovi uski i dugački do 10 cm, naizmjenično smješteni na kratkim peteljkama. Cvjetovi su sitni i skupljeni u glavice dok je njih nekoliko udruženo u gronjaste cvatove. Vanjski cvjetovi glavice dvospolni su, bijeli i jezičasti dok su unutarnji cvjetovi dvospolni, cjevasti i žute boje. Plod čine roške s dlakavim papusom. Krasolika cvjeta od svibnja do rujna te se oprašuje kukcima. Pokazatelj je tla bogatih dušikom i umjereno kiselih tla, a kao mezofit, najčešće se nalazi na sunčanim i vlažnim staništima poput vrtova, oranica, pašnjaka, zapuštenih i neobrađenih zemljišta, livada i poplavnih područja, a često raste uz puteve i ceste (Nikolić i sur., 2014). Ima tipičnu strategiju ruderalne vrste koja naseljava poremećena staništa, a prilikom čega se tijekom obnove vegetacijskog pokrova ili narušenih staništa njena brojnost ne smanjuje. Pretežito se širi vjetrom, no poznato je i njeno širenje životinjama tako da se zalijepi za njihovo krzno pa zaposjeda područja uz staze koje su koristile životinje (Kudryavtsevaa i sur., 2020). Često se spominje kao vrsta s izrazitom dinamikom brojnosti, odnosno ima mogućnost brzog i učinkovitog širenja i povećanja populacija, posebice širenjem sjemena na velike udaljenosti (Zahariev i sur., 2021). Tijekom godina promatranja redovito je se može uočiti na različitim

lokacijama posebice na područjima koja predstavljaju značajnu prijetnju bioraznolikosti ili opožarenim tlima (Kadetov i sur., 2022). Uzrokuje smanjenje bioraznolikosti i krmne vrijednosti livada te je poznata kao agresivna i fleksibilna invazivna vrsta koja masovno zasipa sjenokoše i pašnjake, od nizina pa sve do planinskih područja, znatno smanjujući njihovu prehrambenu vrijednost (Pshegusov i sur., 2020). Kakvu opasnost ova vrsta predstavlja najbolje objašnjava činjenica kako je krasolika uvrštena na popis 150 najraširenijih i najopasnijih korova u Europi (Yusuf, 2021). Poznato je da, osim na okoliš, negativno može utjecati i na ljudsko zdravlje, s obzirom na to da kontakt s krasolikom može uzrokovati kontaktni dermatitis (Zahariev i sur., 2021). Ipak, suprotno tome, poznata je i njena duga povijest primjene u tradicionalnoj kineskoj medicini gdje se koristi kao tradicionalni lijek za liječenje probavnih smetnji, enteritisa, epidemijskog hepatitisa i hematurije. Prethodna istraživanja pokazala su da sadrži monoterpenoide, diterpenoide, triterpenoide, seskviterpenoide i fenolne derivate, a dokazani su i antioksidantni, neuroprotektivni, protuupalni, antikancerogeni, antitumorski, antipretilni i antidijabetički učinci (Li i sur., 2005; Yang i sur., 2008). Od ostalih primjena, u literaturi se navodi kako je upravo ova vrsta dobar akumulator olova (Yusuf, 2021).

6) ***Galinsoga ciliata*** **(Raf.) S. F. Blake**, poznatija je u Hrvatskoj pod nazivima sitnocvjetna ili trepavičava konica iz porodice glavočika (Asteraceae) (Slika 16).

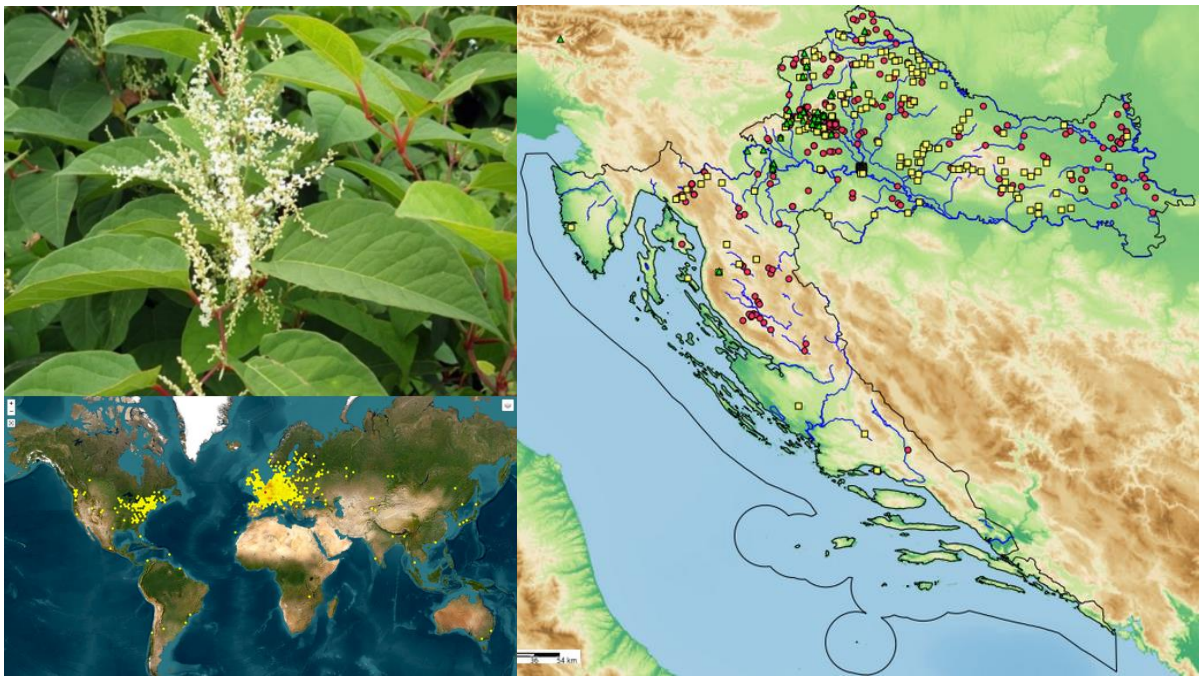


Slika 16. Trepavičava konica - lijevo gore; rasprostranjenost na području HR - desno; rasprostranjenost u svijetu – lijevo dolje

(Nikolić, 2024; Nikolić, 2024; https://identify.plantnet.org/hr/, 2023; pristupljeno: 01.Veljače 2023)

U Europu je namjerno unesena u nekoliko navrata i to različitim putevima, a u literaturi može naći pod različitim nazivima kao što su *G. quadriradiata* ili *G. hispidia*. U Hrvatskoj je prvi puta zabilježena 1974. godine u Zagrebu, a potječe iz Srednje i Južne Amerike (od Meksika do Čilea) (Nikolić i sur., 2014). Sitnocvjetna konica uspravna je, jednogodišnja, dlakava, širokolisna zeljasta biljna vrsta, koja raste u visinu do 80 cm. Ima mnogo razgranatih i grubo dlakavih grana te nasuprotne, tamnozelene, jednostavne, jajaste i šiljasto ušiljene listove koji su dlakavi s obje strane. Mlado lišće konice ima osebujan, oštar miris, nalik ulju cedrovog drveta (Batra, 1979). Cvate od svibnja do listopada, a cvjetovi su dvovrsni, bijeli jezičasti i žuti cjevasti, grupirani u glavice manje od 1 cm. Plod čini od 1 do 1,5 mm duga crna roška s bijelim papusom koji podsjeća na krunu, a razmnožava se isključivo sjemenkama te može proizvesti do 1,3 milijuna sjemenki/m^2 i to u vrlo kratkom vremenskom razdoblju (Kumar i sur., 2009). Vrsta se često mijenja s vrstom *G. parviflora* koja je blijedozelena, ima kratke mekane i rijetke dlačice na stabljici, lišću i peteljkama (Kabuce i Priede, 2010). Obje vrste često rastu simpatrično, pa čak i hibridiziraju (Bhatt i sur., 2011; Nikolić i sur., 2014). Konica je vrsta koja preferira toplu klimu i teška, dušikom bogata i glinasta tla, te je pokazatelj vlažnih tla. Nalazimo je u vrtovima, javnim nasadima, kultiviranim parcelama, rubovima cesta, željezničkih pruga, odlagalištima otpada i ostalim ruderalnim staništima (mezofit), a predstavlja prijetnju bioraznolikosti i u poljoprivrednoj proizvodnji (Bhatt i sur., 2011; Zhang i sur., 2022). Učestala je korovna vrsta posebice kod proizvodnje povrtlarskih kultura, gdje se može proširiti do te mjere da uguši povrtlarske kulture što neposredno može smanjiti prinose od 10 do 50 % (Kumar i sur., 2009). Povećana plodnost tla u vidu tla bogatijeg dušikom, fosforom i ostalim hranjivim tvarima povećava produktivnost, konkurentnost i kompetitivnost sitnocvjetne konice (DiTommaso i sur., 2022). Mogućnosti kemijske kontrole ove korovne vrste su ograničene, a primijećen je i nedostatak učinkovitosti mnogih registriranih herbicida protiv ovoga korova (Kumar i sur., 2009; Besançon i sur., 2021). Vrste iz roda *Galinsoga* koriste se u narodnoj medicini kao protuupalna sredstva i ubrzivači zacjeljivanja rana. Ekstrakti se lokalno primjenjuju na kožu za liječenje dermatoloških bolesti, ekcema, lišajeva i rana, dok se oralno primjenjuju kod liječenja gripe i prehlade. Bez obzira na primjenu u tradicionalnoj medicini (lišće i nadzemni dijelovi), njezin je kemijski sastav manje poznat. Kod konice je do sada identificirana prisutnost flavonoida (patulitrina, kvercimeritrina i kvercetagetrina), fenolnih kiselina i depsida (vanilne, izovanilne, p-kumarne, p-hidroksibenzojeve, o-hidroksifeniloctene, kafeinske, klorogenske kiseline) i derivata kafeoila (Bazylko i sur., 2015). Vodeni ekstrakti pokazali su antioksidativno i fotoprotektivno djelovanje s potencijalnom upotrebom u suzbijanju oksidativnog stresa protiv oštećenja uzrokovanih UV zračenjem (Torres-Contreras i sur., 2022).

7) *Reynoutria japonica* Houtt., poznatija je još pod nazivima japanski dvornik ili japanska rejnutrija (Slika 17).

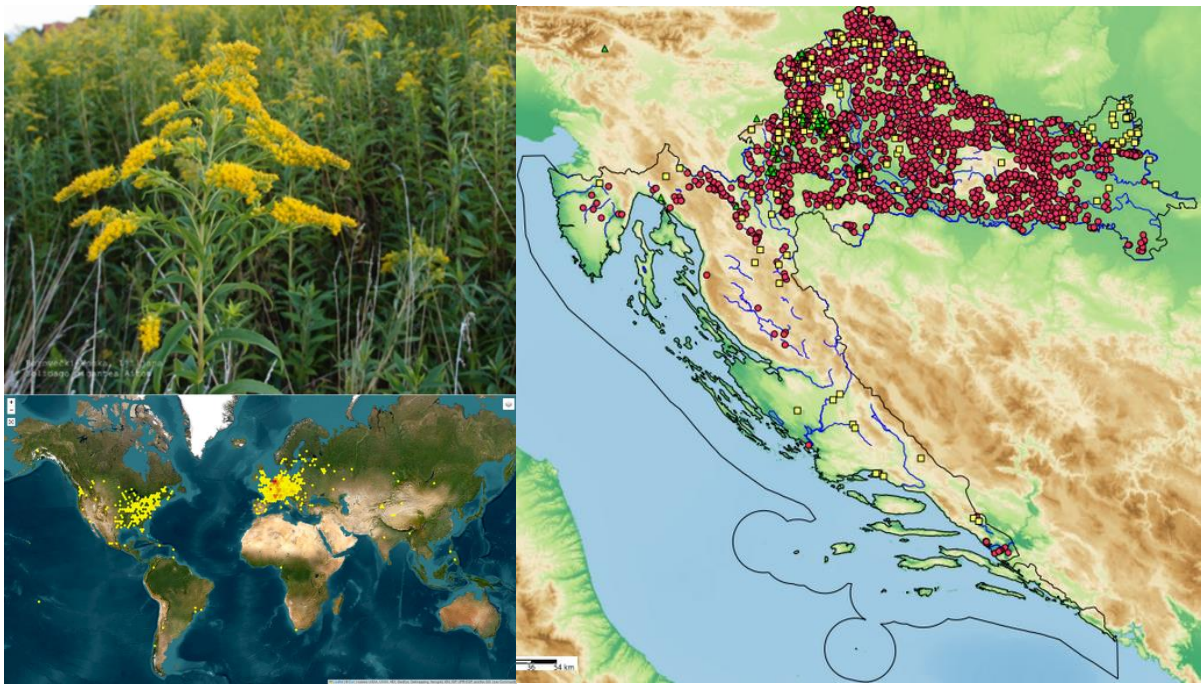


Slika 17. Japanski dvornik - lijevo gore; rasprostranjenost na području HR - desno; rasprostranjenost u svijetu – lijevo dolje
(https://hosho.ees.hokudai.ac.jp/, Nikolić, 2024; https://identify.plantnet.org/hr/, 2023; pristupljeno: 01.Veljače 2023)

U Hrvatskoj je trenutno zabilježeno sedam rodova koji pripadaju porodici Polygonaceae (dvornici), a jedan je od njih i rod *Reynoutria*. Do sada su na našem području zabilježene tri vrste iz roda *Reynoutria*, a to su japanski dvornik (*Reynoutria japonica*), veliki dvornik (*Reynoutria sachalinensis* (F. S. Petrop.)) te njihov fertilni hibrid – češki dvornik (*Reynoutria* × *bohemica* (Chrtek et Chrtková)) (Nikolić, 2024). Riječ je o vrsti azijskog podrijetla, odnosno izvori navode kako je ova biljna vrsta u Europu unesena iz istočne Azije u 19. stoljeću kao ukrasna biljka dekorativnog izgleda. Njeno prisustvo zabilježeno je i na području Sjeverne Amerike, Australije te Novog Zelanda. Horvat i Franjić (2016) navode da je u Hrvatskoj prvi puta zabilježena u prvoj polovici prošloga stoljeća. Japanski dvornik zeljasti je geofit s podzemnim podankom koji preferira vlažna staništa na obalama tekućica i stajaćica, uz rubove prometnica te urbana i antropogena područja. Osobito dobro uspijeva na tlima bogatim dušikom. Ekotip ove vrste određen je kao mezofit, no iako japanski dvornik može rasti na sušim staništima, preferira vlažna, močvarna područja te se očituje se izrazitim higrofitnim prilagodbama. Izrazito je invazivna vrsta te osim na vegetaciju utječe i na promjenu kemijskoga sastava tla te na ostala živa bića u neposrednoj okolini. Japanski dvornik se

razmnožava vegetativnim putem, pa čak se može razviti i iz vrlo malih fragmenata podanka, dok korijenje može prodrijeti u dubinu i širinu od 1 do 2 m. Stabljike su uspravne, šuplje u donjem dijelu, a pri dnu bez lišća debljine do 4 cm. Mogu doseći visinu od 3 do 5 m ovisno o vrsti. Japanski dvornik vrsta je koja se najčešće odlikuje grmolikim habitusom. Listovi su veliki, široki i izduženo ovalni te cjelovitog ruba, Cvjetovi su posloženi u metlice dugačke od 8 do 12 cm, s do čak 200 000 cvjetova po jednoj biljci. Spomenute značajke njeno razmnožavanje čine vrlo uspješnim što je ujedno i razlog formiranja monokulture na staništima koja naseljava. Izrazito je problematična kod procesa zarastanja i obnavljanja, tj. kod pokušaja prirodnog pošumljavanja (Nikolić, 2024; Vuković, 2015; Basrek, 2019). Uza sve navedeno, potrebno je spomenuti i mehanizme kojima se koristi, poput alelopatije, kompeticije i interferencije, uz pomoć kojih lakše prevladava prepreke i potiskuje druge vrste mikroorganizama, biljaka i životinja, posebice zavičajnih vrsta, a prilikom čega do izražaja dolazi njen negativan utjecaj na bioraznolikost. Iako postoje istraživanja koja dokazuju kako se japanski dvornik može koristiti u različite svrhe kao što je npr. korištenje kao hrane za životinje zbog visokog sadržaja proteina, njeni se mladi izdanci mogu koristiti u prehrambene svrhe poput šparoga. Osim toga, poznata je i upotreba spomenute vrste kao fitoremedijatora u svrhu uklanjanja teških metala iz tla. Bez obzira na mogućnosti upotrebe, japanski dvornik se prvenstveno smatra izrazito invazivnom i štetnom vrstom koja uzrokuje cijeli niz šteta za gospodarstvo, umanjuje pristupačnost područja na kojim se proširi, smanjuje otjecanje poplavnih voda, povećava troškove održavanja reguliranih dijelova vodotoka, oštećuje infrastrukturu (npr. korijenjem probija cestu, putove, napuštene građevine i slično) i drugo. Po pitanju bioraznolikosti specifična je po formiranju gotovo homogenih sastojina u kojima se tek rijetko pojavljuju i neke druge vrste te je često jedina zastupljena vrsta kao monokultura na staništu na koje dospije (Vuković, 2015). Biljne vrste iz porodice dvornika jedne su od najzahtjevnijih po pitanju napora i financijskih sredstava za potpuno uklanjanje iz prirode. Jedan od razloga jest upravo taj da ne postoji jedinstvena i učinkovita metoda za potpuno i istovremeno uklanjanje iz prirode podzemnog dijela (podanka) zajedno s korijenom te nadzemnog dijela stabljike što je nužno za njihovo uklanjanje. Najčešće se kod njihova uklanjanje koriste kombinacije različitih metoda u dužem vremenskom periodu. Od mehaničkih metoda koriste se ručno iskapanje biljaka zajedno s korijenom kroz 5 godina, iskapanje zajedno sa zemljom uz ručno uklanjanje podanka iz zemlje ili napasanje stoke. Od kemijskih metoda najučinkovitijim su se pokazale prskanje biljaka herbicidima te prskanje listova preparatima na bazi glifosata, snažnim rezidualnim herbicidima npr. na bazi piklorama, korištenje herbicida koji poremećuju metabolizam i rast novih biljaka na bazi sintetičkih auksina, PPO i ALS inhibitori u različitim fazama rasta i razvoja biljke što je poprilično skupa, a i dugoročno štetna metoda uklanjanja (Basrek, 2019).

8) *Solidago gigantea* Aiton, u Hrvatskoj poznatiji pod imenom velika zlatnica (Slika 18), potječe iz porodice Asteraceae (glavočike) (Nikolić i sur., 2014).



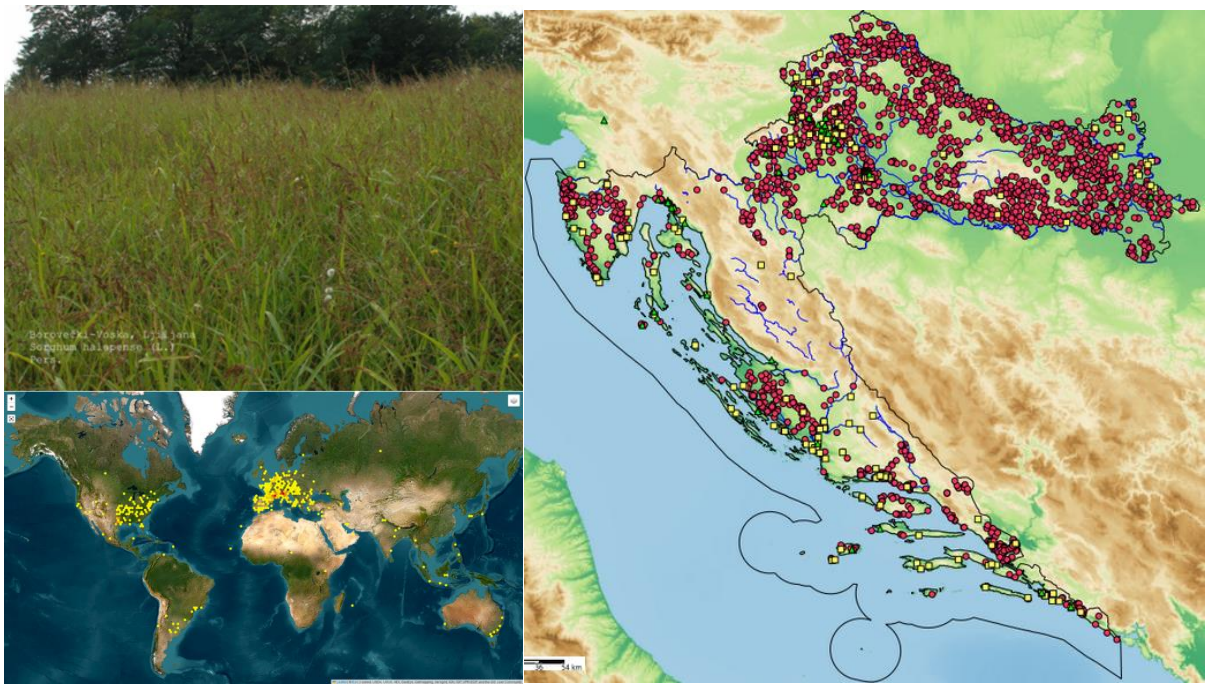
Slika 18. Velika zlatnica - lijevo gore; rasprostranjenost na području HR - desno; rasprostranjenost u svijetu – lijevo dolje

(Nikolić, 2024; Nikolić, 2024; https://identify.plantnet.org/hr/, 2023; pristupljeno: 01.Veljače 2023)

Rod *Solidago* uključuje preko 100 vrsta od kojih se većina nalazi u Sjevernoj i Južnoj Americi, Aziji i Europi dok su pritom najčešće vrste *Solidago canadensis* i *Solidago gigantea*. Obje vrste invazivne su i trenutno se smatraju jednima od najagresivnijih biljaka u Europi (Wrona i sur., 2019). Vrsta *Solidago gigantea* je na područje Europe unesena kao ukrasna vrsta (Yannelli i sur., 2020) oko 1758. godine, dok je u Hrvatskoj prvi put zabiježena 1943. godine na području Podravine (Nikolić i sur., 2014). Velika zlatnica zeljasta je, višegodišnja vrsta koja doseže visinu od 50 do 250 cm. Pod zemljom razvija podzemnu stabljiku odnosno podanak, a nadzemna stabljika joj je uspravna, gola, nerazgranata i modrosiva. Ima od 40 do 110 listova koji su suličasti i nazubljeni te se postepeno smanjuju prema vrhu stabljike. Biljka cvate u ljeto i jesen od srpnja do rujna, a oprašuje se kukcima. Cvjetovi su specifični, jezičasti, cjevasti, žuti i dvospolni, smješteni u cvatnim glavicama. Plod je kratko dlakava roška s puno žila, veličine od 0,9 do 1,2 cm. Biljka se razmnožava i sjemenom i vegetativno. Stvara veliku količinu sjemena koje se širi vjetrom što je značajno za širenje na velike udaljenosti. U povoljnim uvjetima dugi puzavi podanci velike zlatnice lako fragmentiraju, šire se, regeneriraju i ukorijene. Zbog klonskog razmnožavanja ova vrsta može formirati guste monospecifične sastojine koje inhibiraju autohtonu vegetaciju i omogućuju prodor u gustu, uspostavljenu

vegetaciju i mjesta siromašna hranjivim tvarima (Jakobs i sur., 2004; Schlaepfer i su., 2010; Nikolić i sur., 2014; Nagy i sur., 2020). Mnogi čimbenici igraju ulogu u uspjehu invazije velike zlatnice i to između ostalog zato što ima snažnu konkurentsku sposobnost u postizanju velike brojnosti smanjujući značajno bogatstvo vrsta u ugroženim zajednicama. Široka tolerancija brojnih biotskih i abiotskih stresora, prilagođenost različitim stanišnim uvjetima te iznimna tolerancija velikih raspona vlažnosti tla, svjetlosti, sadržaja hranjivih tvari, temperature ili raspona pH (Benelli i sur., 2018), omogućuju joj brzo širenje i zauzimanje antropogenih, poluprirodnih i prirodnih ekosustava (Dambiec i sru., 2022). Kao ruderalni mezofit preferira staništa kao što su nasipi uz ceste i željeznice, močvarna područja ili obale rijeka (Jakobs i sur., 2004), napuštenih polja i rubnih šumskih područja (Móricz i sur., 2021). Osim ruderalnih površina, često zaposjeda obradive zelene površine, posebice područja napuštenih travnjaka za ispašu ili košnju iako može služiti i kao dodatni izvor nektara i peluda za medonosne pčele (Dambiec i sru., 2022). Dokazana je njena sposobnost modifikacije kruženja ugljika i dušika te ostalih karakteristika tla (pH, dostupnost hranjivih tvari i dinamika ugljika i fosfora), a prlikom čega može pokazati utjecaj i na biotu tla (Zekič i sur., 2021). Može preživjeti u teškim uvjetima, uspješno naseljava zagađena tla te može smanjiti pokretljivost teških i toksičnih metala na način da ih veže čime zaustavlja njihov prijenos u prehrambene lance pa se može koristiti kao bioindikator onečišćenja teškim metalima kao što su Cd, Cu, Cr, Fe, Ni i Zn (Dambiec i sru., 2022). Dokazano je da je ova vrsta bogata sekundarnim metabolitima, uglavnom flavonoidima, fenolnim kiselinama, monoterpenima, diterpenima, triterpenima, saponinima i eteričnim uljima te različitim spojevima koji sadrže dušik (Wrona i sur., 2019; Benelli i sur., 2018). Biljke bogate bioaktivnim spojevima imaju učinkovitiju zaštitu od biljojeda i mikrobnih patogena (Wrona i sur., 2019). Esencijalna ulja biljke imaju insekticidno djelovanje zbog čega se navodi moguća upotreba u proizvodnji ciljanih prirodnih insekticida i drugih preparata te je dodatno dokazano da isti ne štete gujavicama, pčelama i oprašivačima, već samo specifičnim nametnicima koji napadaju pojedine biljne vrste (Benelli i sur., 2018). Dijelovi biljke također imaju povijest primjene u fitoterapiji budući da pokazuju antibakterijsko, antifungalno, protuupalno, antimikrobno, antipretilno, antioksidativno, antispazmodičko, diuretičko, sedativno, citotoksično i hipotenzivno djelovanje. Uz to, navedeno je da se može sigurno koristiti u farmaceutskim i kozmetičkim formulacijama (Benelli i sur., 2018; Wrona i sur., 2019) što potvrđuje njeno spominjanje, čak i u Europskoj farmakopeji (Móricz i sur., 2021). Štoviše, mnogostruke koristi ove biljne vrste zabilježene su i u procesima proizvodenje energije ili goriva iz biomase. Pritom je dokazana visoka učinkovitost ove vrste kod pretvorbe njene biomase u bioetanol (Wiatrowska i sur., 2022) te je moguća njena upotreba i u proizvodnji biougljena (Łapczyńska-Kordon i sur., 2022). Također, može se koristiti i u proizvodnji žute boje za bojanje tekstila (Zekič i sur., 2021).

9) *Sorghum halepense* (L.) Pers, poznatiji je pod nazivima piramidalni ili piramidasti sirak, koštrava, koštan, kukuruzar ili perika (Nikolić i sur., 2014) (Slika 19).



Slika 19. Piramidalni sirak - lijevo gore; rasprostranjenost na području HR - desno; rasprostranjenost u svijetu – lijevo dolje

(Nikolić, 2024; Nikolić, 2024; https://identify.plantnet.org/hr/, 2023; pristupljeno: 01.Veljače 2023)

Piramidalni sirak je zapravo prirodni hibrid između *S. bicolor* jednogodišnje, politipske afričke vrste koja uključuje kultivirani sirak i *S. propinquum*, trajnice jugoistočne Azije. Proširen je na druge kontinente iz umjerenih dijelova Azije i Afrike (Iqbal i sur., 2022). Široko je rasprostranjen na jednoj trećini ukupne globalne površine uzrokujući značajne gubitke u poljoprivredi i prirodnoj bioraznolikosti u Aziji, Africi, Americi i Europi te se smatra jednim od 10 najgorih korova na svijetu (Travlos i sur., 2019; Paterson i sur., 2020). Njegova se prisutnost u Hrvatskoj navodi od početka 19. stoljeća (Nikolić i sur., 2014). Višegodišnja je zeljasta vrsta sa snažnim i razgranatim podzemnim podankom koji raste obilnije nego nadzemni dio stabljike te može dosegnuti i do 90 % mase cijele biljke. U jednoj sezoni podanak može narasti i do 90 cm u duljinu dok nadzemna, uspravna i glatka stabljika doseže visinu od 150 do 200 cm (Nikolić i sur., 2014, Travlos i sur., 2019). Do trenutka cvatnje, pretežito u lipnju i srpnju, ima oko 50 cm dugačke, plosnate i glatke listove od 1 do 2 cm širine s bijelom glavnom žilom po sredini. Rub lista oštar je i nazubljen prema gore. Na vrhu stabljike razvija se metličasti cvat od 10 do 30 cm s razgranatim trajnim stršećim ograncima koji nose kratke lomljive grozdove s dvojakim parovima klasova dok se na vrhu grana nalaze tri cvata zajedno koji tvore piramidalni oblik. Klasići su dvospolni veličine od 4,5 do 5,5 mm. Plod je zrno koje

sadrži sjmenku sraslu s usplođem (Nikolić i sur., 2014). Osim podancima, lako se razmnožava iz sjemena te jedna billjka može proizvesti i više od 80000 sjemenka, do čak 350 po jednoj metlici. Sjeme može ostati viabilno u tlu od 10 do 20 godina (Pedireddi i sur., 2024). Vrsta najčešće obitava na poljoprivrednim površinama, šumama, močvarama i jarcima te ostalim ruderalnim staništima (Shah i sur., 2021). Najbolje uspijeva na poroznim, plodnim nizinama, a najslabije na slabo dreniranim ilovastim tlima. Preferira vlažna mjesta kao što su jarci za navodnjavanje, obrađena polja, međe na poljima, voćnjaci i pašnjaci. Dormantnost sjemena, obilna produkcija sjemena, alelopatski potencijal te otpornost na herbicide i sušu, različiti mehanizmi razmnožavanja, brzi razvoj i snažna kompetitivnost, ovom izrazito lako prilagodljivom mezofitu omogućuju invazivnost te ga čine velikim problemom za poljoprivrednu proizvodnju (Peerzada i sur., 2017). Vrsta *S. halepense* smanjuje prinose za od 57 do 88 % u kukuruzu, sirku za zrno, soji, suncokretu, šećernoj trski, pamuku, pašnjacima, lucerni i brojnim višegodišnjim usjevima (Travlos i sur., 2019). Također, mogući je domaćin mnogim vrstama patogena te može značajno promijeniti biogeokemiju tla napadnutog područja (Peerzada i sur., 2017;Travlos i sur., 2019). Ova vrsta ima širok raspon uporabnih namjena kao što su hrana za stoku, ali i ljude u obliku brašna u keksima, beskvasnom kruhu i tortilji, može se koristiti prilikom proizvodnje piva, a može se rabiti i u konditorskoj industriji (Khayal i sur., 2019). Biljke posjeduju brojne kemijski aktivne spojeve s antioksidativnim, antidijabetičkim (Shah i sur., 2019; Shah i sur., 2021) i citotoksičnim djelovanjem (Khayal i sur., 2019). Može sadržavati prirodne antioksidanse poput polifenola, vitamina C i flavonoida koji mogu umanjiti rizik od kardiovaskularnih, kancerogenih ili kroničnih bolesti poput ateroskleroze, dijabetes melitusa, artritisa i neurodegenerativnih bolesti ili usporiti procese starenja (Khayal i sur., 2019; Shah i sur., 2019). Također, ova vrsta značajna je i po snažnoj akumulaciji visokih koncentracija teških metala i drugih elemenata. Može se koristiti i kao potencijalna lignocelulozna sirovina za pirolizu, izravno izgaranje, plinifikaciju (Iqbal i sur., 2022) ili proizvodnju etana putem anaerobne digestije s obzirom na to da ima visok bioenergetski potencijal (Iqbal i sur., 2022). Osim spomenutog, postoje istraživanja kojima je potvrđeno da se može koristiti u silaži za ishranu goveda ili u proizvodnji hlapljivih masnih kiselina putem anaerobne digestije (Da Silva i sur., 2022).

3.2. Priprema biljnog materijala za analize energetske i funkcionalne vrijednosti

Neposredno nakon prikupljanja uzoraka biomase invazivnih biljnih vrsta, uzorci su dopremljeni do Laboratorija za istraživanje biomase u poljoprivredi Zavoda za održive tehnologije i obnovljive izvore energije Sveučilišta u Zagrebu Agronomskog fakulteta, nakon čega je određen sadržaj suhe tvari prikupljenog nadzemnog biljnog materijala (HRN EN ISO 18134-2:2017), te su uzorci pripremljeni za daljnje analize.

Od cjelokupne nadzemne biomase pojedinog uzorka odvojen je dio za potrebe analize funkcionalne vrijednosti, odnosno sadržaja bioaktivnih tvari, a koje su provedene u Laboratoriju za analizu kvalitete poljoprivrednih proizvoda biljnog porijekla Zavoda za održive tehnologije i obnovljive izvore energije Sveučilišta u Zagrebu Agronomskog fakulteta. Za potrebe analize funkcionalne vrijednosti svim uzorcima odvojena je stabljika od lista, odnosno za svaku vrstu za tri repeticije ručno je odvojen list (prosječno 100 g po uzorku) (Slika 20). Odvojeni listovi čuvani su na 4 °C do provedbe analiza (maksimalno 3 dana) u polietilenskim vrećicama s perforacijom. Uzorci su na dan provedbe analiza izvađeni iz hladnjaka otprilike 1 h prije analiza te nasjeckani nožem, nakon čega su usitnjeni i homogenizirani u kašastu smjesu blenderom „MixSy VO-022-K - Zepter (Switzerland).

Slika 20. Odvajanje lišća za potrebe kemijske analize funkcionalne vrijednosti

Svježi nadzemni dio biomase invazivnih biljnih vrsta (uključujući stabljiku i list) korišten je za potrebe određivanja energetske vrijednosti. Uzorci su najprije ostavljeni na sušenju u laboratorijskim uvjetima (prirodno na zraku) pri sobnoj temperaturi (prosječne vrijednosti 21

°C) uz svakodnevno protresanje u ukupnom trajanju od 30 dana (do konačnog sadržaja vode od otprilike 10 %). Suhi materijal usitnjen je na mlinu za laboratorijsko usitnjavanje vlaknastih materijala (IKA Analysentechnik GmbH, Germany) i prosijan na sitotresilici (Retsch AS200, Njemačka) kako bi se pri daljnjoj analizi uzoraka za potrebe određivanja energetskih svojstava prema standardnim metodama izdvojila frakcija čestica veličine 250 µm – 1000 µm. Reprezentativni uzorak dobiven je uzorkovanjem (metoda četvrtanja), čime je ujedno i smanjena količina suhog, usitnjenog materijala za svaki uzorak. Time je izdvojena biomasa invazivnih biljnih vrsta predviđena za daljnje analize, koja je dalje skladištena u zatvorenim, označenim, sterilnim, polietilenskim posudicama u tamnom i suhom prostoru laboratorija do provedbe pojedinih analiza.

3.3. Metode određivanja funkcionalne vrijednosti biljnog materijala

3.3.1. Sadržaj suhe tvari lista

Sadržaj suhe tvari uzoraka invazivnih biljnih vrsta neposredno prije analiza fitonutrijenata određen je prema standardnoj AOAC metodi (1995) postupkom konvencijskog sušenja u laboratorijskom sušioniku (Model UN30, Memmert, Schwabach, Njemačka) pri temperaturi od 105 °C do konstantne mase uzorka.

Prije vaganja pripremljenog uzorka, izvagane su suhe staklene posudice s poklopcima zajedno s pomoćnim materijalom (kvarcnim pijeskom). U izvagane posudice zatim je odvagano (Model QUINTIX224 – 1CEU; Sartorius Lab Instruments GmbH & Co. KG Goettingen, Njemačka) otprilike 2,5 g pripremljenog uzorka u tri ponavljanja za svaki uzorak te su posudice bez poklopca stavljene na sušenje u laboratorijski sušionik zagrijan na 105 ± 0,5 °C. Sušenje se nastavilo sve dok razlika dva uzastopna mjerenja u razmaku od pola sata nije bila manja od 0,001 g. Nakon završetka procesa sušenja, posudice su poklopljene i stavljene na hlađenje u eksikator do temperature okoline. Posudice s poklopcima ponovno su izvagane kako bi se utvrdila razlika u masi prije i nakon sušenja. Sadržaj suhe tvari određen je prema izračunu ispod, a izražen je u %.

Formula:

$$Suha\ tvar\ (\%) = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \times 100 \qquad \text{(a)}$$

m_0 (g) - masa posudice i pomoćnog materijala (kvarcni pijesak, poklopac)

m_1 (g) - masa posudice s ispitivanim uzorkom prije sušenja

m_2 (g) - masa posudice s uzrokom nakon sušenja

3.3.2. Određivanje sadržaja L-askorbinske kiseline

Sadržaj L-askorbinske kiseline, u uzorcima invazivnih biljnih vrsta određen je prema standardnoj metodi kojom se najčešće određuje u povrću i voću (AOAC, 2002). Metode određivanja temelje se na reverzibilnoj sposobnosti sustava. L-askorbinska kiselina oksidirana je pomoću 2,6-p-diklorindofenola (u simultanoj ulozi kao indikatora redoks reakcije) u dehidroaskorbinsku što se manifestira prijelazom boje reagensa u bezbojnu leukobazu.

Za potrebe izolacije L-askorbinske kiseline odavagano (Model QUINTIX224 – 1CEU; Sartorius Lab Instruments GmbH & Co. KG Goettingen, Njemačka) je 5 g lista, a odvagana masa je pomoću 2 %-tne otopine oksalne kiseline (v/v) kvantitativno prenesena u odmjernu tikvicu od 100 mL. Tikvica je nadopunjena 2 %-tnom otopinom oksalne kiseline (v/v) do oznake te je tako pripremljen uzorak ostavljen stajati otprilike 30 min pri sobnoj temepraturi uz povremeno miješanje kako bi se sva količina L-askrobinkse kiselin otopila u otapalu. Nakon stajanja uzorak je profiltriran preko običnog Whatmanovog filter papira, te klipnom pipetom otpipetirano 10 mL filtrata koji je titritan s otopinom 2,6-p-diklorindofenola do pojave postojane ružičaste boje (Slika 21). Sadržaj L-askorbinske kiseline izračunat je prema formuli i izražen u u mg/100 g svježe tvari:

$$L - askorbinska\ kiselina\ \left(\frac{mg}{100g}\right) = \frac{V\ x\ F}{D} \times 100 \qquad \text{(b)}$$

V (mL) – volumen 2,6-p-diklorindofenola utrošenog titracijom

F – faktor normaliteta 2,6-p-diklorindofenola

D (g) – masa uzorka u tekućini

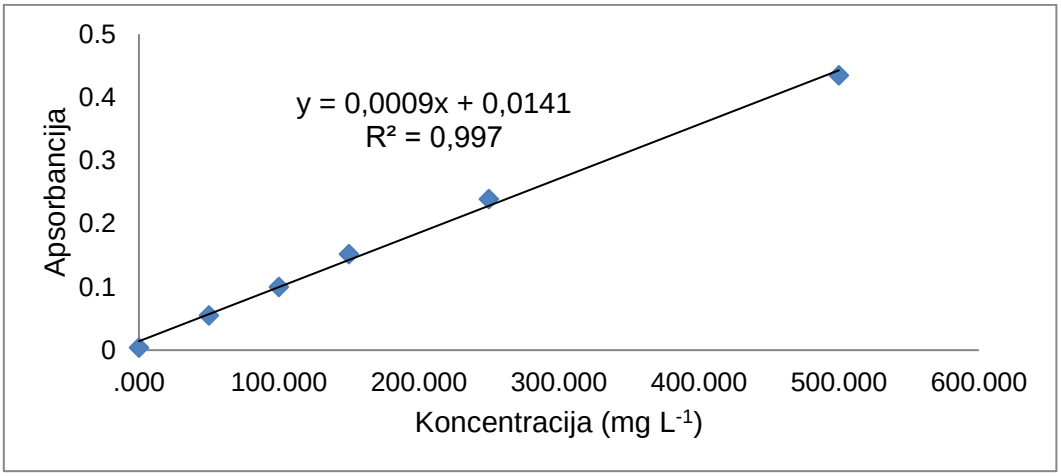
Slika 21. Određivanje L-askorbinske kiseline uzoraka invazivnih biljnih vrsta (kvantitativno prebacivanje uzorka - lijevo; filtriranje - sredina; titracija - desno)

3.3.3. Određivanje sadržaja ukupnih fenola

Ukupni fenolni spojevi određeni su prema metodi opisanoj od Ough i Amerine (1988), a koja se temelji na reakciji fenolnih spojeva s Folin-Ciocalteu reagensom što se očituje promjenom boje uzorka u karakterisitčno plavo obojenje. Folin-Ciocalteu reagens, je smjesa fosfowolframove i fosfomolibdene kiseline koje se reduciraju u wolframov oksid i molibdenov oksid pri oksidaciji fenolnih spojeva iz uzorka. Intenzitet nastalog obojenja mjeri se spektrofotometrijski pri valnoj duljini od 750 nm.

Prije same analize pripremljen je baždarni pravac gdje je kao vanjski standard korištena galna kiselina (Sigma Aldrich, Njemačka). Za pripremu *„stock“* otopine galne kiseline, u tikvici od 100 mL otopi se 500 mg standarda galne kiseline u etanolu (80 % v/v). Otopina galne kiseline razrijedi se u odmjernim tikvicama od 100 mL, pipetiranjem alikvota standarda od 0, 1, 2, 3, 5 i 10 mL u svaku od pripremljenih tikvica koje se zatim nadopune 80 %-tnim etanolom do oznake. Koncentracije galne kiseline tako pripremljenih razrijeđenja kreću se od 0 do 500 mg/L. U odmjerne tikvice od 50 mL otpipetirano je 0,5 mL alikvota standarda, dodano 30 mL destilirane vode, 2,5 mL reagensa Folin-Ciocalteu (razrijeđenog s destiliranom vodom u omjeru 1:2, reagens:voda) i 7,5 mL zasićene otopine natrijevog karbonata. Otopine su izmiješane, nadopunjene destiliranom vodom do oznake i ostavljene pri sobnoj temperaturi dva sata. Potom se pri valnoj duljini od 750 nm mjeri apsorbancija pri čemu se kao slijepa proba koristi destilirana voda. Baždarni pravac izrađen je u Microsoft Excelu (Slika 22) pomoću izmjerenih apsorbancija (apscisa prikazuje koncentracije galne kiseline u mg L^{-1}; ordinata prikazuje vrijednosti apsorbancije kod valne duljine od 750 nm). Temeljem nacrtanog pravca izražena je i jednadžba pravca koja je za sva očitanja uzoraka bila:

$$y = 0{,}0009x + 0{,}0141 \qquad \text{(c)}$$



Slika 22. Baždarni pravac koncentracije galne kiseline

Za potrebe izolacije fenolnih spojeva iz uzorka odvagalo se (Model QUINTIX224 – 1CEU; Sartorius Lab Instruments GmbH & Co. KG Goettingen, Njemačka) 10 g lista u Erlenmeyerovu tikvicu volumena 300 mL. U tikvicu je dodano 40 mL 80 %-tnom etanola (v/v), sadržaj tikvice zagrijan je do vrenja te grijan 10 min uz povratno hladilo metodom refluksa (Slika 23). Nakon 10 min, vrući sadržaj tikvice je profiltiran preko običnog Whatmanovog filter papira u odmjernu tikvicu volumena 100 mL, a ostatak biljnog materijala zajedno s filter papirom prebačen je u istu Erlenmeyerovu tikvicu, dodano je 50 mL 80 %-tnom etanola (v/v) te je sadržaj ponovno nakon vrenja grijan 10 min uz povratno hladilo. Nakon 10 min sadržaj je profiltiran u istu odmjernu tikvicu (filtrati su spojeni). Sadržaj tikvice ostavljen je da se ohladi do sobne temperature nakon čega je sadržaj nadopunjen do oznake 80 %-tnim etanola (v/v). Takvi pripremljeni ekstrakti fenolnih spojeva korišteni su za reakciju s Folin-Ciocalteu reagensom.

Slika 23. Ekstrakcija fenola

Prema istom postupku kao i kod pripreme standarda priprema se rekacija fenolnih spojeva s Folin-Ciocalteu reagensom na način da se u odmjerne tikvice od 50 mL zajedno s otpipetiranih 0,5 mL ekstrakta dodaje 30 mL destilirane vode, 2,5 mL reagensa Folin-Ciocalteu (razrijeđenog vodom u omjeru 1:2) i 7,5 mL zasićene otopine natrijevog karbonata. Nakon što se sadržaj tikvice dobro promućka, dopuni se destiliranom vodom do oznake te se ostavi na sobnoj temperaturi dva sata uz povremeno miješanje. Apsorbace nastalog plavog obojenja mjere su spektrofotometrijski (Shimadzu UV 1650 PC) uz destiliranu vodu kao slijepu probu pri valnoj duljini od 750 nm. Kao vanjski standard koristi se galna kiselina (ekvivalent galne kiseline-GAE), a rezultati sadržaj ukupnih fenola izraženi su u mg/GAE 100 g svježe tvari.

3.3.4. Određivanje sadržaja ukupnih flavonoida i neflavonoida

Prilikom analize flavonoidnih fenolnih spojeva, za njihovo se taloženje koristi formaldehid koji reagira s pozicijom na 5,7-dihidroksi flavonoidu. Pritom se stvaraju derivati metilola koji dalje reagiraju s drugim flavonoidnim spojevima na istoj C-6 ili C-8 poziciji uz nastanak kondenziranih molekula koje se uklanjaju filtriranjem. Po metodi za ukupne fenole (Ough i Amerine, 1988), spektrofotometrijski, određuje se i ostatak neflavonoidnih fenola, dok iz razlike ukupnih fenolnih spojeva i neflavonoida računamo sadržaj ukupnih flavonoida. Metoda određivanja također se temelji na reakciji Folin-Ciocalteu reagensa i flavonoidnih spojeva. Ekstrakt ukupnih fenola (opisan u poglavlju 4.3.3) koristi se i za određivanje neflavonoida i preračunavanje flavonoida.

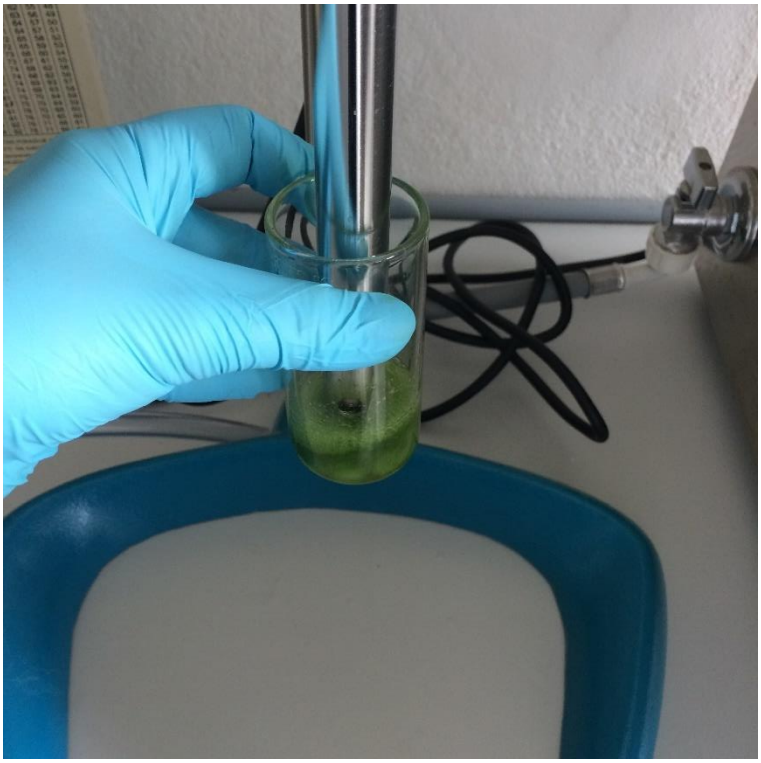
U odmjernu tikvicu od 25 mL otpipetirano je redom: 10 mL etanolnog esktrakta, 5 mL otopine HCl (1:4; 20 % v/v) i 5 mL formaldehida (p.a.). Pripremljeni uzorci propuhani su u struji dušika i ostavljeni 24 sata stajati u mraku pri sobnoj temperaturi. Nakon 24 h uzorci su profiltrirani te je prema istoj proceduri opisanoj u poglavlju 4.3.3., kao i za ukupne fenolne spojeve, napravljena reakcija s Folin-Ciocalteu reagensom. Uz destiliranu vodu kao slijepu probu, na spektrofotometru Shimadzu UV 1650 PC pri valnoj duljini od 750 nm izmjerene su apsorbance nastalog plavog obojenja. Kao vanjski standard korištena je galna kiselina, a svi uzorci očitani su prema jednadžbi pravca ukupnih fenolnih spojeva. Oduzimanjem sadržaja flavonoida od ukupnih fenola računski je dobiven sadržaj neflavonoida.

Konačni sadržaj ukupnih neflavonoida i flavonoida u uzorcima izražen je kao mg GAE/100 g svježe tvari.

3.3.5. Određivanje sadržaja fotosintetskih pigmenata (klorofil-a, klorofil-b, ukupni klorofili i ukupni karotenoidi)

Količina klorofila u biljnim uzorcima može se odrediti pomoću nekoliko validiranih metoda, dok su u ovom istraživanju određeni spektrofotometrijski prema Pérez i sur. (2018). Cilj ove metode je odrediti koncentracije pigmenata kloroplasta (ukupni klorofili, klorofil-a, klorofil-b) u acetonskim ekstraktima biljnog materijala.

Ekstrakcija i određivanje pigmentnih spojeva provelo se brzo u zatamnjenim uvjetima. U staklenu kivetu odvagano je otprilike 0,2 g svježeg uzorka (Model QUINTIX224 – 1CEU; Sartorius Lab Instruments GmbH & Co. KG Goettingen, Njemačka). Zbog neutralizacije kiselosti u uzorak se dodaje malo $MgCO_3$ u prahu te u koracima od tri puta po 5 mL acetona (p.a.). Nakon svakog dodavanja acetona uzorci su homogenizorani laboratorijskim homogenizatorom (Ultra-Turrax T-18, IKA) (Slika 24).



Slika 24. Priprema uzoraka za određivanje fotosintetskih pigmenata

Nakon homogenizacije uzorci su profiltirani preko običnog Whatmanovog filter papira, odmjeren je konačni volumen (mL) filtrata te su takvim uzorcima spektrofotometrijski (Shimadzu UV 1650 PC) izmjerene apsorbance pri tri valne duljine: 662, 644 i 440 nm uz aceton (p.a.) kao slijepu probu. Za potrebe preračunavanja koncentracije pigmenata korištene su Holm-Weststtainove jednadžbe:

$$klorofil\ a = 9{,}784\ \times\ A662 -\ 0{,}990\ \times\ A644\ [mg/(dm)\text{^}3\ ] \quad \text{(d)}$$

$$klorofil\ b = 21{,}426\ \times\ A644 - 4{,}65\ \times\ A662\ [mg/(dm)\text{^}3\ ] \quad \text{(e)}$$

$$klorofil\ a + b = 5{,}134 \times\ \mathrm{A662} + 20{,}436 \times\ A644\ [mg/(dm)\text{^}3\ ] \quad \text{(f)}$$

$$karotenoidi = 4{,}695 \times\ \mathrm{A440} - {,}268\ \times\ (\text{klorofil a} + \text{b})[mg/(dm)\text{^}3\ ] \quad \text{(g)}$$

Prema Holmu (1954) i Wetstteinu (1957), brojevi u jednadžbama predstavljaju molarne koeficijente apsorpcije. Za izračunavanje koncentracije pigmenata po mg/g svježe tvari dobivene koncentracije u mg/L preračunate su prema formuli:

$$c\ (mg/g) = \frac{c1 \times V}{m} \qquad \text{(h)}$$

c (mg/g) – masena koncentracija pigmenta izražena u mg/g svježe tvari
c1 (mg/L) – masena koncentracija pigmenta izražena u mg/L
V (mL) – volumen filtrata (odmjerne tikvice u mL)
m (mg) – masa uzorka izražena u mg

3.3.6. Antioksidacijska aktivnost

Stabilni plavozeleni radikal kation 2,2′-azinobis(3-etilbenzotiazolin-6-sulfonska kiselina) ($ABTS^{\cdot+}$ radikal-kationa) nastaje tijekom kemijske ili enzimske oksidacije otopine ABTS-a, s karakterističnim maksimumom apsorpcije pri valnoj duljini od 734 nm. Metoda određivanja antioksdacijskog kapaciteta temelji se upravo na gašenju $ABTS^{\cdot+}$ radikal-kationa. U prisutnosti antioksidansa $ABTS^{\cdot+}$ kation se reducira u ABTS, a reakcija se očituje obezbojenjem plavozelene otopine. Udio uklonjenih ABTS radikala koje „gase“ različiti antioksidanti mjeri se praćenjem smanjenja apsorbancije ABTS radikala te se uspoređuje sa smanjenjem apsorbancije koju uzrokuje dodatak određene količine Troloxa (6-hidroksi-2,5,6,7,8-tetrametilkroman-2-karbonska kiseline) pri istim uvjetima (Miller i sur., 1993; Re i sur., 1999).

Priprema ABTS reagensa provodi se na sljedeći način:

1. dan:

Najprije se prema protokolu pripremi 140 mM otopina kalijeva persulfata, $K_2S_2O_8$, 7 mM otopina, otopina ABTS i stabilna otopina $ABTS^{\cdot+}$. Nakon toga, u tikvici se promiješa 88 µL pripremljene otopine $K_2S_2O_8$ s 5 mL otopine ABTS-a. Nakon što se sadržaj tikvice dobro promiješa, zatvori se, obloži aluminijskom folijom i ostavi stajati od 12 do 16 sati na sobnoj temperaturi, dok se stajanjem otopine intenzitet plavozelene pojačava.

2. dan:

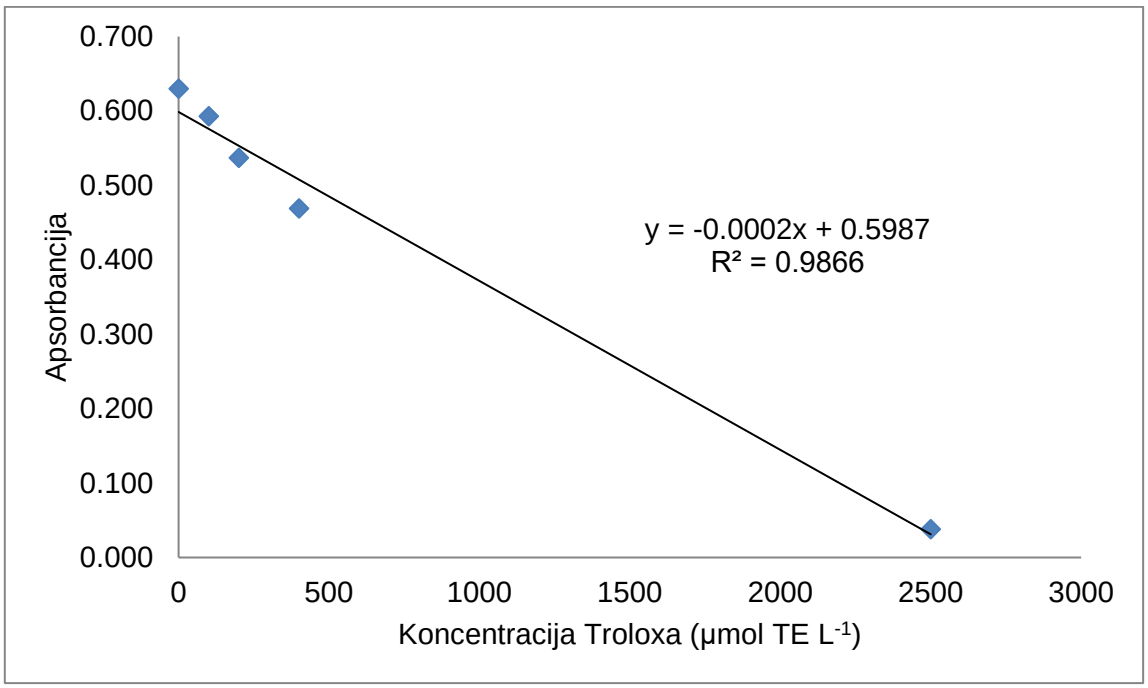
Na dan provođenja analiza, pripremi se otopina $ABTS^{\cdot+}$ (1 %-tna), te se 1 mL otopine otpipetira u tikvicu od 100 mL i razrijedi 96 %-tnim etanolom. Nakon pripreme otopine, izmjerena apsorbanca 1 %-tne otopine $ABTS^{\cdot+}$ pri 734 nm mora iznositi 0,70 ± 0,02 ili ju je potrebno dodatno podesiti s nekoliko kapi stabilne $ABTS^{\cdot+}$ otopine ili razrjeđivanjem s 96 %-tnim etanolom. Budući da je 1 %-tna otopina $ABTS^{\cdot+}$ nestabilna i nepostojana, potrebno je sve analize zajedno s baždarnim pravcem napraviti unutar 24 sata od pripreme otopine.

Određivanje antioksidacijske aktivnosti provodi se spektrofotometrijski (Shimadzu UV 1650 PC) nakon miješanja 160 mL uzorka (prethodno pripremljenog etanolnog ekstrakta, poglavlje 4.3.3.) s 2 mL 1 % ABTS+ otopine i detekcijom apsorbancije na 734 nm nakon 1 minute. Kao slijepa proba koristi se 96 %-tni etanol, dok se konačne vrijednosti antioksidacijskog kapaciteta uzoraka izračunaju pomoću jednadžbe baždarnog pravca otopine Troloxa, izražene u µmol TE/L.

$$y = -0{,}0002x + 0{,}5987 \quad \text{(i)}$$

Za izradu baždarnog pravca u ABTS metodi koristi se Trolox kao vanjski standard (Sigma Aldrich, SAD), a koji uzrokuje reduciranje plavozelene boje $ABTS^{\cdot+}$ sa slijedećim razrijeđenjima: 0, 100, 200, 400, 1000, 2000 i 2500 µmol/L. Najprije se izvaže 0,0156 Troloxa u odmjernu tikvicu od 25 mL te se razrijedi do oznake 80 %-tim etanolom. Iz pripremljene otopine („*stock*“ otopine) pripreme se i ostala razrijeđenja te se u njih otpipetira 160 µL Trolox-a i doda 2 mL 1 %-tne $ABTS^{\cdot+}$ otopine, kojima se zatim pri 734 nm mjeri apsorbancija. Na temelju izmjerenih vrijednosti izrađuje se baždarni pravac (Slika 25) gdje apscisa predstavlja koncentracije Troloxa (µmol/L), a ordinata izmjerene vrijednosti apsorbancije, a iz nacrtanog pravca izražava se jednadžba pravca. Kod analize uzoraka invazivnih biljnih vrsta, za sva očitanja jednadžba pravca bila je:

$$y = -0{,}0002x + 0{,}5987 \quad \text{(i)}$$



Slika 25. Baždarni pravac koncentracija Troloxa

3.4. Metode određivanja energetske vrijednosti biljnog materijala

3.4.1. Sadržaj suhe tvari nadzemne biomase

Sadržaj suhe tvari nadzemne biomase, jedan je od najvažnijih parametara za određivanje kvalitete biomase, a određuje se neposredno nakon prikupljanja uzoraka kako bi se odredio najekonomičniji i najisplativiji način korištenja prikupljene biomase. Također, navedena analiza provodi se još jednom neposredno prije ostalih analiza energetske vrijednosti kako bi se dobiveni rezultati mogli izraziti na suhu tvar biomase (laboratorijska suha tvar) te kako bi se pripremio suhi dio uzorka za određene analize koje to zahtijevaju. Dobiveni podaci laboratorijske suhe tvari koriste se isključivo u svrhu daljnjih proračuna.

Princip metode zasniva se na sušenju odvaganih uzoraka pri temperaturi od 105 ℃ do konstantne mase u laboratorijskom sušioniku (Memmert UF 55 plus, Njemačka) (Slika 26). Nakon postizanja konstantne mase, posudice se stavljaju u eksikator na hlađenje do sobne temperature te se ponovno važu kako bi se utvrdila razlika u masi prije i nakon sušenja sukladno standardnoj metodi (HRN EN ISO 18134-2:2017).

Slika 26. Određivanje sadržaja suhe tvari; uzorci prije analize (lijevo), uzorci u sušnici (desno)

3.4.2. Određivanje sadržaja pepela

Princip metode određivanja sadržaja pepela u biomasi zasniva se na izračunavanju mase mineralnog ostatka uzorka nakon zagrijavanja određene mase uzorka u porculanskim

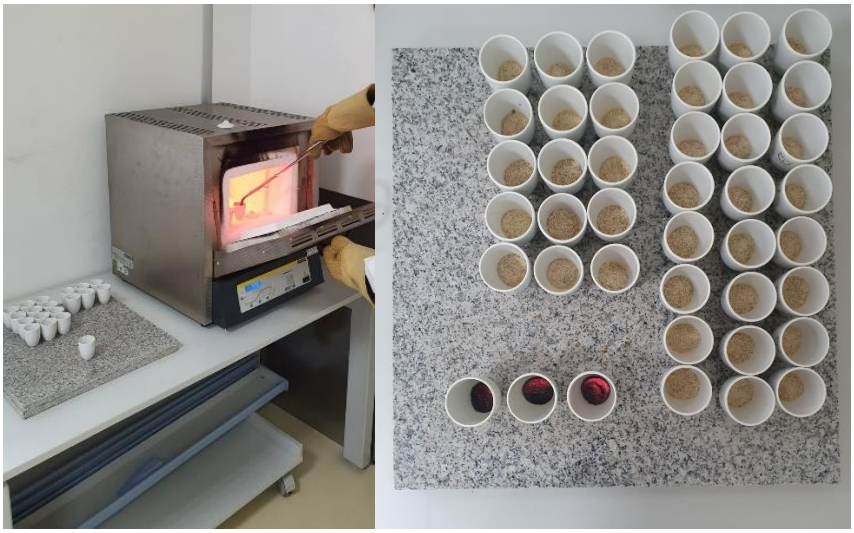
lončićima u strogo kontroliranim vremenskim uvjetima i na kontroliranoj temperaturi (550 ± 10 °C).

Slika 27. Određivanje sadržaja pepela; uzorci prije analize (lijevo), analize pepela u mufolnoj peći (sredina), uzorci nakon analize (desno)

Određivanje sadržaja pepela (Slika 27.) provodi se u mufolnoj peći (Nabertherm B170 Lilienthal, Njemačka), sukladno standardnoj metodi (HRN EN ISO 18122:2015) Nakon završetka procesa, lončići se izvade iz mufolne peći i stavljaju na porculanski tanjur od 5 do 10 minuta da se ohlade, a potom se prenose u eksikator. Nakon što se ohlade na sobnu temperaturu, lončići s uzorcima se izvažu i zabilježe se njihove mase.

3.4.3. Određivanje sadržaja koksa

Analiza koksa (Slika 28) predstavlja proces u kojem na vrlo visokoj temperaturi dolazi do izgaranja gorivih i hlapljivih tvari prilikom čega zaostaje koks. Određivanje udjela koksa određuje se pri temperaturi od 900 ± 10°C u mufolnoj peći (Nabertherm B170, Lilienthal, Njemačka) sukladno standardnoj metodi (HRN EN ISO 18123:2015) za određivanje koksa.



Slika 28. Analiza koksa (lijevo), uzorci prije i nakon analize (desno)

U porculanske posudice odvaže se 1 gram uzorka. Kod stavljanja u mufolnu peć posudice se poklope porculanskim poklopcima te se uzorak spaljuje 7 minuta na temperaturi od 900 ± 10°C. Nakon toga, posudice s uzorcima se izvade na keramičku ploču i nakon deset minuta premjeste u eksikator sve dok se ne ohlade na sobnu temperaturu. Dobivena je razlika u masi prije i nakon spaljivanja upravo masa koksa.

3.4.4. Određivanje sadržaja fiksiranog ugljika i hlapljivih tvari

Pojam fiksirani ugljik (Cfix) odnosi se na čvrstu frakciju koja ostaje nakon isparavanja hlapljivih komponenti. Sadržaj fiksiranog ugljika određuje se računski tako da se od udjela koksa oduzme udio pepela u suhoj tvari sukladno standardnoj metodi (HRN EN ISO 18123:2009):

$$Fiksirani\ ugljik\ (\%) = koks\ (\%) - pepeo\ (\%) \quad \text{(j)}$$

Pojam hlapljivih tvari odnosi se na komponente goriva koje se oslobađaju kada se gorivo zagrijava pri visokim temperaturama, ne isključujući vodenu paru. Sadržaj hlapljivih tvari određuje se računski, pomoću udjela fiksiranog ugljika i gorivih tvari u suhoj tvari uzorka (HRN EN ISO 18123:2009):

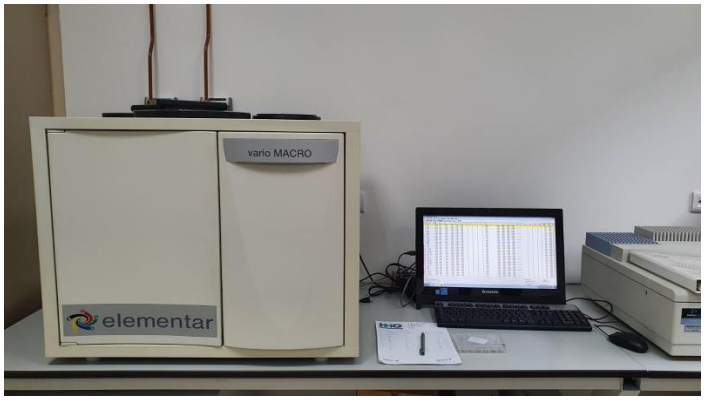
$$Hlapive\ tvari = Gorive\ tvari - sadržaj\ Cfix \quad \text{(k)}$$

Prema navedenoj metodi, postoji i drugi način određivanja hlapljivih tvari (HRN EN ISO 18123:2009):

$$Hlapive\ tvari = 100 - sadržaj\ pepela - sadržaj\ vode \quad (l)$$

3.4.5. Sadržaj ugljika (C), vodika (H), dušika (N), sumpora (S) i kisika (O) - elementarni sastav

Određivanje sadržaja ukupnog ugljika, dušika, sumpora i vodika provedeno je metodom suhog spaljivanja na Vario, Marco CHNS analizatoru (Slika 29) prema protokolu HRN EN ISO 16948:2015 za ugljik, vodik i dušik te HRN EN ISO 16994:2015 za sumpor.



Slika 29. CHNS Vario Macro Elemental analizator

Uzorci za analizu (Slika 30) pripremaju se u tri ponavljanja, a paralelno s uzorcima priprema se i standard na način da se u aluminijsku foliju zapakira određena količina uzorka uz dodatak aditiva u praškastom obliku (volfram (VI) oksida).

Slika 30. Priprema uzoraka za analizu CHNS

Princip analize uključuje poznatu masu uzorka koji se spaljuje u smjesi kisika (radi potpunog izgaranja) i helija (plina nosioca) te se izgoreni uzorak pretvara u pepeo i plinovite produkte izgaranja. Oslobođeni plinovi, dušikovi oksidi, ugljikov dioksid, suporov (III) oksid i vode, pomoću helija se prenose dalje kroz sustav izgaranja redukcijske kolone na 850 °C te se uz pomoć bakra kao redukcijskog sredstva uklanja višak kisika, odnosno reduciraju se do dušika, ugljikovog dioksida i suporovog (II) oksida. Helij se nakon pročišćavanja kvantitativno mjeri na termokonduktivnom detektoru (TCD). Ostali plinovi adsorbirani su pomoću zasebnih adsorbcijskih kolona koje ih uzastopno oslobađaju termičkom desorpcijom i mjere na TCD-u. Nadalje, detektirani podaci prenose se izravno na računalo gdje se postotak sadržaja pojedinog elementa izračunava pomoću signala s detektora, poznate mase uzorka i spremljene kalibracijske krivulje standarda. Također, uzeto je u obzir trenutno stanje cijelog sustava koje se automatski preračunava putem korekcije dnevnog faktora. Sadržaj kisika određuje se računski.

3.4.6. Određivanje strukturalnog sastava

Kod određivanja energetskog sastava neke biljke, ključan faktor čini omjer celuloze i lignina (Dunnett i Shah, 2007). Određivanje sadržaja vlakana provedeno je po standardnim procedurama (NREL / TP -510-42623, NREL / TP -510-42618) za određivanje celuloze, hemiceluloze i lignina (Sluiter i sur., 2008a; Sluiter i sur., 2008b) na Ankom uređaju (ANKOM^{2000}, Ankom Technology, USA).

Najprije je potrebno odrediti kisela (ADF) i neutralna vlakna (NDF) te kiseli lignin (ADL), nakon čega se iz dobivenih podataka računski određuje udio celuloze i hemiceluloze, dok se iz ADL-a dobiva vrijednost lignina.

Za određivanje kiselih i neutralnih vlakana, uzorke je potrebno pripremiti na način da se u unaprijed označene filter vrećice odvaže i zatvori od 0,45 do 0,50 g uzorka u tri ponavljanja za svaku vrstu vlakana. Paralelno uz uzorke, na isti način, potrebno je pripremiti standard (Alfa alfa) i slijepu probu. Uzorci se zajedno sa standardom i slijepom probom poslože na držače i umetnu u Ankom uređaj gdje je potrebno uliti kiseli deterdžent za analizu kiselih vlakana te neutralni deterdžent za analizu neutralnih vlakana (uz dodatak 4 + 8 ml alfa amilaze i 20 g Na_2SO_3) te pokrenuti analizu.

Neovisno o vrsti vlakna, nakon završetka analize uzorke je potrebno izvaditi iz uređaja i pažljivo ocijediti rukama. Nakon toga, uzorci se potapaju u posudu s acetonom na otprilike 5 minuta, ocijede i poslože na pladnjeve radi hlapljenja zaostalog acetona. Tako posloženi uzorci stavljaju se u sušnicu na 102 °C na sušenje do konstantne mase od 2 do 4 sata, nakon

čega se stavljaju na hlađenje u posebnu vrećicu sa silika kuglicama bez prisustva zraka te važu kada dosegnu sobnu temperaturu.

Kod postupka analize kiselog lignina koriste se već analizirani uzorci na kojima su odrađena kisela vlakna. Potpuno suhe i izvagane vrećice sobne temperature, stave se u plastičnu čašu i preliju sa 72 % H_2SO_4. Vrećice se drže potopljenima u kiselini otprilike 3 sata, nakon čega se kiselina izlije, a vrećice se ispiru u vodi do neutralnog. Ocijeđene vrećice potapaju se u posudu s acetonom na otprilike 5 minuta, ponovno ocijede i poslože na pladnjeve radi hlapljenja zaostalog acetona. Tako posloženi uzorci stavljaju se u sušnicu na 102 °C na sušenje do konstantne mase od 2 do 4 sata, nakon čega se stavljaju na hlađenje u posebnu vrećicu sa silika kuglicama bez prisustva zraka te se važu kada dosegnu sobnu temperaturu.

Udio kiselih vlakna (ADF) izračunava se prema formuli:

$$\%\ ADF = \frac{100 \times * \left(w3 - (w1 \times c1)\right)}{w2 \times ST} \quad \text{(m)}$$

Pri čemu je: w1 - masa vrećice
w2 - masa uzorka
w3 - masa vrećice s uzorcima nakon procesa ekstrakcije vlakna
c1 - korekcija slijepe probe (konačna težina vrećice iz sušnice/izvorna težina prazne vrećice)
ST - suha tvar

Udio neutralnih vlakna (NDF) izračunava se prema formuli:

$$\%\ NDF\ = \frac{100 \times \left(w3 - (w1 \times c1)\right)}{w2 \times ST} \quad \text{(n)}$$

Pri čemu je: w1 - masa vrećice
w2 - masa uzorka
w3 - masa vrećice s uzorcima nakon procesa ekstrakcije vlakna
c1 - korekcija slijepe probe (konačna težina vrećice iz sušnice/izvorna težina prazne vrećice)
ST - suha tvar

Udio kiselog lignina (ADL) izračunava se prema formuli:

$$\%\ ADL = \frac{100 \times \left(w3 - (w1 \times c1)\right)}{w2 \times ST} \quad \text{(o)}$$

Pri čemu je: w1 - masa vrećice
w2 - masa uzorka
w3 - masa vrećice s uzorcima nakon procesa ekstrakcije vlakna
c1 - korekcija slijepe probe (konačna težina vrećice iz sušnice/izvorna težina prazne vrećice)
ST - suha tvar

Udio pojedinačnih vlakana (celuloze, hemiceluloze i lignina) se iz dobivenih vrijednosti računa prema formuli:

$$Udio\ celuloze:$$
$$\%\ CEL\ =\ \%\ ADF\ -\ \%\ ADL \quad \text{(p)}$$

$$Udio\ hemiceluloze:$$
$$\%\ HEM\ =\ \%\ NDF\ -\ \%\ ADF \quad \text{(r)}$$

$$Udio\ lignina:$$
$$\%\ LIG\ =\ \%\ ADL \quad \text{(s)}$$

3.4.7. Određivanje makro i mikro elemenata, teških metala

Analiza makro i mikro elemenata, teških metala provodi se atomskom apsorpcijskom spektrometrijom (Perkin Elmer, AAnalyst 400) (Slika 31) uz prethodnu pripremu uzoraka izgaranjem u mikrovalnoj peći za pripremu uzorka (ETHOS D „Milestone“, Velika Britanija) prema standardnim metodama (HRN EN ISO 16967:2015, HRN EN ISO16968:2015).

Slika 31. Analiza mikro i makro elemenata, teških metala na AAS

Ukupni makro i mikro elementi, teški metali koji se određuju su: K, Ca, Mg, Na, Cu, Fe, Zn, Cd, Pb, Ni, Cr, Hg, Mo, As, Co. Najprije je potrebno odvagati od 0,5 do 1,0 g uzorka te ga prenijeti u posude za mikrovalnu digestiju. Dodati 7 mL HNO_3 i 1 mL H_2O_2 i pričekati da prestane burna. Posude se zatvore s originalnim poklopcima i stave u nosače te se sve prenese na rotor u mikrovalnu peć. Iz memorije se pozove program za razgradnju uzorka (za biljni materijal) i sa START se pokrene razgradnja. Po završetku razgradnje i hlađenja program se automatski zaustavi, nakon čega se uzorci vade iz mikrovalne peći i premještaju u digestor. Razgrađene uzorke kvantitativno se prenese u odmjerne tikvice od 50 ili 100 mL, dopuni ultra čistom vodom do oznake i profiltrira te se uzorci do očitavanja čuvaju zatvoreni u plastičnim bočicama. Paralelno s razgradnjom uzoraka provodi se i razgradnja slijepe probe s istim kiselinama i otopinama kao i uzorci. Ovako razgrađeni uzorci pripremljeni su za određivanje mikro i makro elemenata i teških metala atomskom apsorpcijskom spektrometrijom (AAS).

Atomska apsorpcijska spektrometrija predstavlja kvantitativnu analizu elemenata u nekom uzorku spaljenom pomoću acetilena. Zasniva se na mjerenju smanjenja monokromatskog zračenja pri njegovom prolasku kroz atomsku paru uzorka. Odnosno, prolaskom određene, za svaki element karakteristične valne duljine svjetlosti kroz neki uzorak, doći će do apsorpcije određene količine svjetlosti od strane slobodnih atoma elementa čiji se

kvantitet istražuje. Izvor svjetlosti predstavlja lampa koja u sebi sadrži šuplju katodu koja emitira intenzivno monokromatsko zračenje.

3.4.8. Određivanje ogrjevne vrijednosti

Ogrjevna vrijednost određena je korištenjem standardne metode (HRN EN 14918:2010) u kalorimetru (AC600 - LECO, Njemačka). Ogrjevna vrijednost uzorka određena je preciznim mjerenjem topline koja se oslobađa nakon izgaranja uzorka u kontroliranom okruženju. Oslobođena toplina proporcionalna je ogrjevnoj vrijednosti tvari.

Uzorak mase od 0,5 do 1,0 g bio je stavljen u posudu za izgaranje koja je pod tlakom kisika. Posuda za izgaranje – kalorimetrijska bomba, automatski je bila spuštena u vodenu kupelj unutar instrumenta koja se zapečati. Omotač koji okružuje kupelj također je ispunjen vodom. Zapaljenjem uzorka raste temperatura vodene kupelji, a rezultati se baziraju na temperaturnoj razlici između vodene kupelji i omotača (izoperibolski sustav), odnosno na maksimalnom porastu temperature vodene kupelji. Nakon što je proces završio, na zaslonu računala ispisana je bila gornja ogrjevna vrijednost (Hg, engl. higher heating value, HHV) u MJ/kg. Ona predstavlja najveću moguću energiju koja se može dobiti izgaranjem nekog goriva.

Donja ogrjevna vrijednost (Hd, engl. lower heating value, LHV) manja je od gornje ogrjevne vrijednosti za toplinu koja je utrošena na isparavanje vode i sumporne kiseline iz goriva ili vode nastale pri gorenju te se dobiva računski:

$$Hd\ (J\ kg-1)\ =\ Hg\ (J\ kg-1)\ -\ \{2.441{,}80\ ^{*}\ (J\ kg-1)\ [8{,}936\ ^{**}\ H\ (\%)]\}\ /\ 100 \quad \text{(t)}$$

* energija potrebna za isparavanje vode;

** MH_2O / MH_2; odnos molekularne mase između H_2O i H_2.

3.5. Statistička analiza podataka

Statistička analiza podataka ovog istraživanja provedena je na rezultatima mjerenja istraživanih parametara (funkcionalne i energetske vrijednosti) za 12 invazivnih biljnih vrsta prikupljenih na području Žumberačkog gorja. Navedene vrste podijeljene su u dvije skupine (drvenaste i zeljaste) prema anatomskoj građi stabljike. Svaka od navedenih vrsta prikupljena je na tri različite lokacije. Za svaku vrstu određena su energetska i funkcionalna svojstva te su za svaki uzorak po lokaciji bila provedena tri mjerenja za svaki istraživani parametar.

Provedena je analiza varijance ANOVA (engl. ANalysis Of VAriance) zbog testiranja statistički značajne razlike između aritmetičkih sredina više grupa. Ovom analizom utvrđuje se

utjecaj jedne ili više kategorijalnih (nezavisnih) varijabli na jednu brojčanu kontinuiranu (zavisnu) varijablu s pretpostavkama da su opažanja neovisna unutar i između uzoraka, da je varijanca ista u svim uzorcima, da su podaci normalno raspoređeni te da su opažanja grupirana prema jednom ili više faktora (Dytham, 1999.). Također, proveden je i *Tukey post hoc* HSD (engl. Honestly Significant Differences) test kako bi se utvrdile razlike između grupa. Ovaj test koristi se za utvrđivanje odnosa te statističke značajnosti između dva niza podataka odnosno za testiranje eksperimentalne hipoteze. U rezultatima je prikazano prosječno odstupanje od srednje vrijednosti za svaki ispitivani parametar s vrijednostima standardne devijacije (prosjek $\pm$ standardna devijacija). Vrijednosti u istom stupcu s različitim slovima u eksponentu (a - e) ukazuju na značajne razlike između srednjih vrijednosti pri $p \leq 0{,}0001$.

Zbog boljeg razumijevanja i vizualizacije dobivenih podataka provedena je analiza glavnih komponenti (PCA – Principal component analysis). PCA je korištena zbog utvrđivanja mogućih korelacija između mjerenih parametara, a pomaže u prepoznavanju grupiranja, sličnosti i razlika između uzoraka. Promatranjem odnosa između točaka (uzoraka) i vektora (promatranih svojstava), omogućeno je bolje razumijevanje grupiranja podataka, odnosno kako pojedini uzorci leže u odnosu na glavne komponente. Pomoću PCA analize može se odrediti koji od promatranih parametara ima značajan utjecaj na raspodjelu analiziranih invazivnih biljnih vrsta na PCA prikazu i to na osnovi dobivenih podataka u prvoj glavnoj komponenti koja objašnjava najveći dio interakcija u promatranom skupu podataka. Duljina vektora govori koliko dobro je određeni parametar prikazan na dijagramu, dok je smjer vektora usmjeren prema uzorku koji ima najveću vrijednost promjenjive varijable koju taj vektor prikazuje. Kut (ili ugao) između dva vektora odgovara odnosu kvadrata korelacije između promjenjivih varijabli, prilikom čega je kut manji to je veća korelacija između dvije promjenjive varijable. PCA analize funkcionalne vrijednosti i energetske vrijednosti istraženih invazivnih biljnih vrsta prikazane su na slikama 34-41.

Povezanost energetske i funkcionalne vrijednosti odnosno zasebnih parametara drvenastih i zeljastih vrsta utvrđena je analizom postojećih korelacija, odnosno izračunom Pearson-ovog koeficijenta linearne korelacije. Pearsonov koeficijent korelacije označava se malim slovom r ili r_p te može imati vrijednosti od 1 (što predstavlja savršenu pozitivnu korelaciju), preko 0 (bez korelacije), do -1 (što predstavlja savršenu negativnu korelaciju). Vrijednost koeficijenta korelacije od 0 do 1 je pozitivna korelacija i označava sukladan rast vrijednosti obje skupine podataka. Vrijednost koeficijenta korelacije od 0 do -1 označava negativnu korelaciju, odnosno sukladan porast vrijednosti jedne varijable, a pad vrijednosti druge varijable. Kada koeficijent korelacije ima vrijednost 0, tada on označava ne postojanje linearne povezanosti, što upućuje na činjenicu kako upoznavajući vrijednosti jedne varijable ne možemo ništa zaključiti o vrijednostima druge (Udovčić i sur., 2017). Na slikama 42-54

prikazane su korelacije međuodnosa funkcionalne i energetske vrijednosti u uzorcima drvenastih i zeljastih stranih invazivnih biljnih vrsta s granicom značajnosti + $p<0.01$; * $p<0.05$; ** $p<0.10$ (Dytham, 1999), dok se Pearsonovi koeficijenti korelacije (r) nalaze u prilogu (Prilog III, Tablica 1-12).

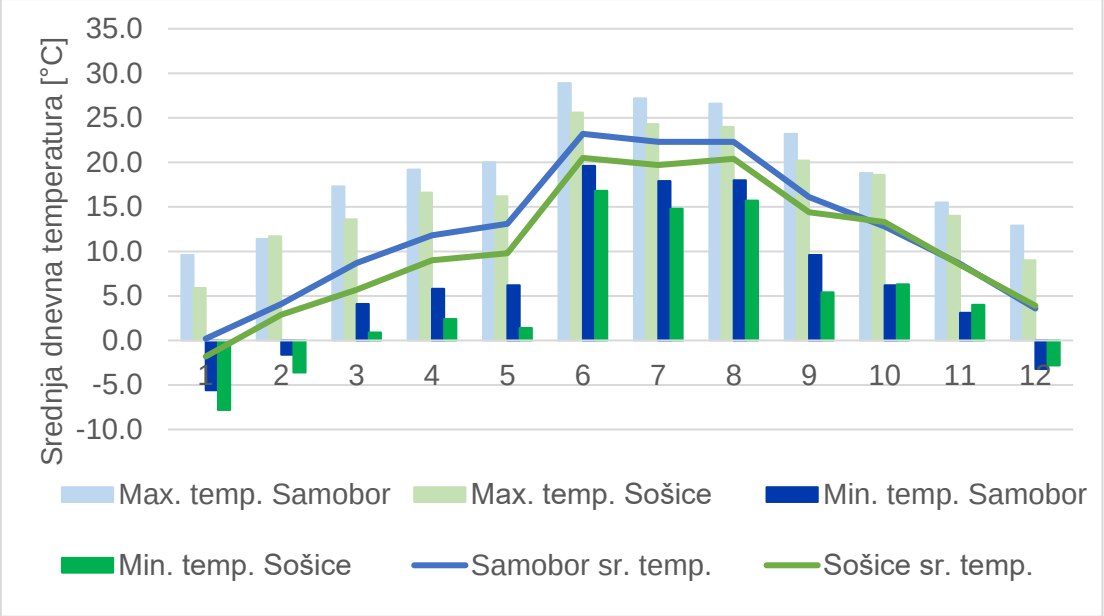
Za statističku obradu rezultata korišteni su računalni programi SAS (SAS Institute. SAS®/STAT 9.4; SAS Institute Inc: Cary, NC. SAD (2011)) i Statistica (STATISTICA 10.0; StatSoft Inc.: Tulsa, OK, USA (2010)).

4. METEOROLOŠKI PODACI ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

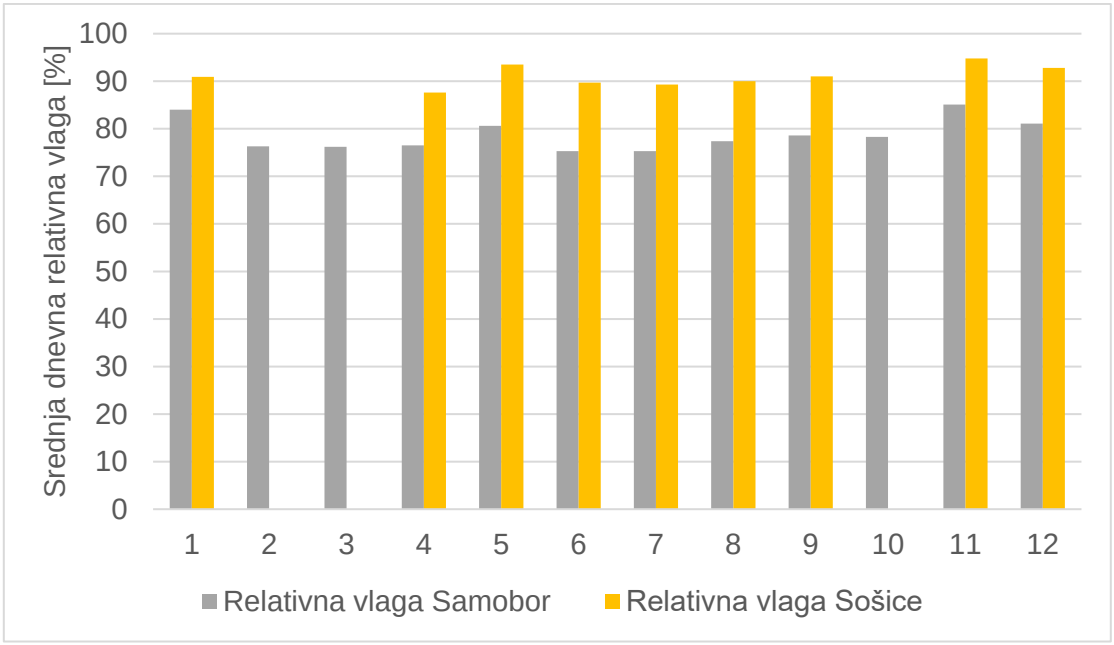
Za područje istraživanja invazivnih vrsta prikupljeni su meteorološki podaci za 2019. godinu sa četiri mjerne stanice (Slika 32): Samobor, Sošice, Gorica Svetojanska i Mrzlo Polje Žumberačko (DHMZ, 2024).

Slika 32. Mjerne stanice Državnog hidrometeorološkog zavoda za područje istraživanja

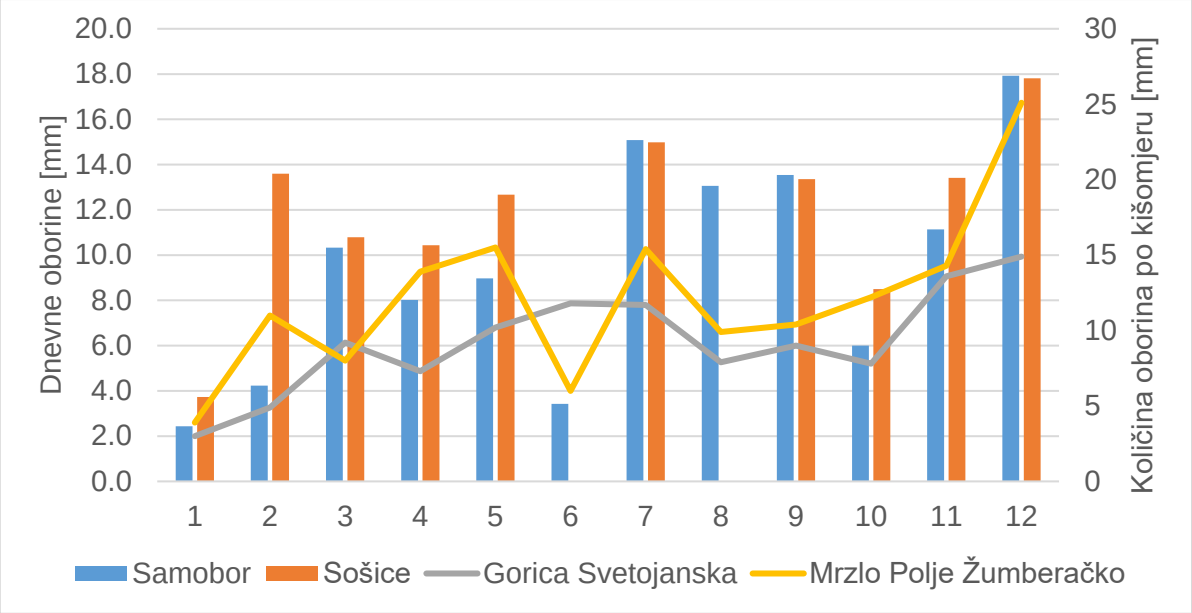
U grafikonima 1 – 3, prikazane su dnevne prosječne temperature zraka uključujući minimalnu, maksimalnu i srednju temperaturu zraka (°C), prosječnu relativnu vlagu zraka (%) i prosječnu količinu padalina (mm) za područje prikupljanja invazivnih vrsta. Prema podacima Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ, 2024), meteorološki podaci za minimalnu, maksimalnu i srednju temperaturu zraka (°C) prikupljeni su s dvije mjerne stanice: Samobor i Sošice. Prosječna temperatura na području istraživanja za vrijeme provedbe prikupljanja uzoraka (travanj - rujan) iznosila je 16,9 °C (Grafikon 1). Podaci prosječne relativne vlage (%) prikupljeni su također s dvije mjerne stanice: Samobor i Sošice, dok je za vrijeme provedbe prikupljanja uzorka prosječna relativna vlaga iznosila 83,73 % (Grafikon 2). Podaci za količinu oborina prikupljeni su na 4 mjerne stanice. Za vrijeme provedbe prikupljanja uzoraka prosječne padaline prema mjernim stanicama Samobor i Sošice iznosile su 9,46 mm, dok su na mjernim stanicama Gorica Svetojanska i Mrzlo Polje Žumberačko padaline bile mjerene po kišomjeru te su iznosile 10,75 mm (Grafikon 3).



Grafikon 1. Srednja dnevna temperatura na području istraživanja
(izvor:DHMZ, 2024)



Grafikon 2. Meteorološki podaci relativne vlage na području prikupljanja invazivnih biljnih vrsta
(izvor:DHMZ, 2024)



Grafikon 3. Meteorološki podaci količina padalina na područja prikupljanja invazivnih biljnih vrsta

(Izvor: DHMZ, 2024)

5. REZULTATI

Slijedeća poglavlja prikazuju rezultate inventarizacije te energetske i funkcionalne vrijednosti biomase dvanaest stranih invazivnih biljnih vrsta prikupljenih na području istraživanja Park Prirode Žumberak-Samoborsko gorje s proširenim područjem.

5.1. Inventarizacija stranih invazivnih biljnih vrsta

Inventarizacija stranih invazivnih biljnih vrsta uključivala je identifikaciju te okvirnu procjenu zastupljenosti istraživanih invazivnih biljnih vrsta na istraživanom području.

Na spomenutom području istraživanja prikupljeno je ukupno 12 invazivnih biljnih vrsta koje su kategorizirane prema građi stabljike na drvenaste i zeljaste. Od drvenastih ukupno su prikupljene tri vrste:

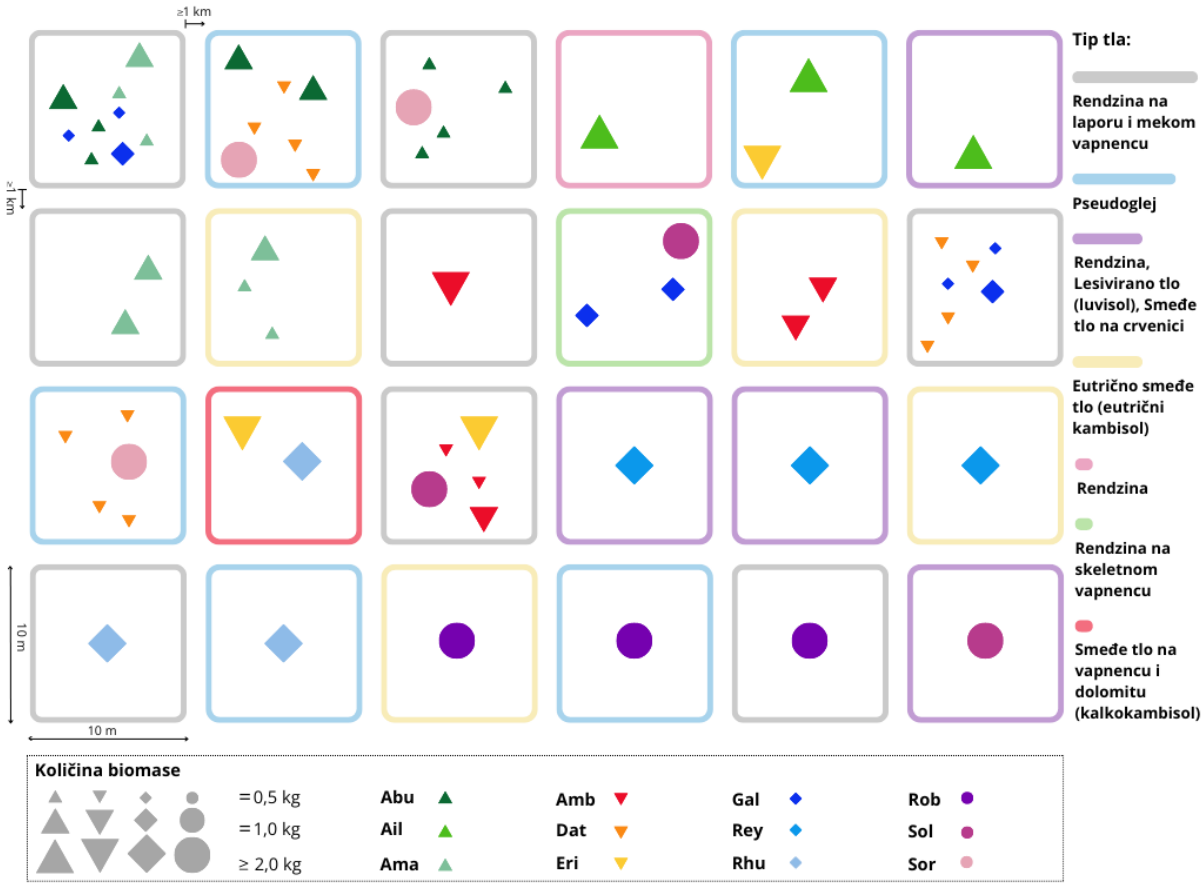
- *Ailanthus altissima* (Ail),
- *Rhus typhina* (Rhu) i
- *Robinia pseudoacacia* (Rob),

dok je od zeljastih ukupno prikupljeno devet vrsta i to:

- *Abutilon theophrasti* (Abu),
- *Amaranthus retroflexus* (Ama),
- *Ambrosia artemisiifolia* (Amb),
- *Datura stramonium* (Dat),
- *Erigeron annuus* (Eri),
- *Galinsoga ciliata* (Gal),
- *Reynoutria japonica* (Rey),
- *Solidago gigantea* (Sol) i
- *Sorghum halepense* (Sor).

Spomenute invazivne biljne vrste bile su različito zastupljene na pojedinim mikrolokacijama, bilo grupirane u guste sklopove, bilo disperzirane na svakoj od mikrolokacija. S obzirom kako je jedan od ciljeva istraživanja bio sakupiti dovoljnu količinu biomase invazivnih biljnih vrsta, invertarizacija je osim determinacije vrsta uključivala i procjenu biomase na svakoj pojedinoj mikrolokaciji, a čiji su rezultati prikazani slici 33. Svaka vrsta je prikazana drugačijom bojom i oblikom, dok veličina oblika definira količinu sakupljene biomase prilikom čega najmanji oblik prikazuje količinu biomase od 0,5 kg, srednji od 1 kg i najveći od 2 kg. Boja ruba kvadrata pojedine mikrolokacije (ružičasta, siva, ljubičasta, zelena, žuta, crvena i plava) predstavlja vrstu tla na području prikupljanja, određenu pomoću aplikacije QGIS (QGIS Development Team, 2020). Duljina oznake za tip tla s lijeve strane prikaza

označava zastupljenost pojedinog tipa tla na mikrolokacijama. Tako je primjerice, rendzina na laporu i mekom vapnencu (siva boja ruba mikrolokacija) najzastupljeniji tip tla prikazanih mikrolokacija (njih osam). Tip tla pseudoglej bio je zastupljen na pet mikrolokacija (plavo). Tip tla rendzina, lesivirano tlo, smeđe tlo na crvenici (ljubičasto), kao i euterično smeđe tlo (žuto) bili su zastupljeni svaki na četiri mikrolokacije. Jedna mikrolokacija prikupljanja uzoraka imala je tip tla rendzina (ružičasto), jedna mikrolokacija imala je tip tla rendzina na skeletnom vapnencu (zeleno) i jedna je imala smeđe tlo na vapnencu (crveno).



Slika 33. Vizualizacija procijene zastupljenosti istraživanih invazivnih biljnih vrsta na mikrolokacijama istraživačkog područja

Temeljem determinacijskih ključeva i druge florističke literature određeni su podaci za životni oblik, trajanje života i florne elemente prikupljenih invazivnih biljnih vrsta za potrebe ovog istraživanja, a koji su prikazani u Tablici 5.

Tablica 5. Životni oblici, trajanje života i florni elementi prikupljenih invazivnih biljnih vrsta

Vrsta	Životni oblik	Trajanje života	Florni element	Broj ostalih vrsta
Abutilon theophrasti Medik.	T	1	Inv. (Az)	22
Ailanthus altissima (Mill.) Swingle	P	d. traj	Inv. (Az)	61
Amaranthus retroflexus L.	T	1	Cosmop	31
Ambrosia artemisiifolia L.	T	1	Inv. (Am)	48
Datura stramonium L.	T	1	Inv. (Am)	24
Erigeron annuus (L.) Pers.	H	z. traj	Inv. (Am)	63
Galinsoga ciliata (Raf.) S. F. Blake	T	1	Inv. (Am)	43
Reynoutria japonica Houtt.	G	z. traj	Inv. (Az)	70
Rhus typhina L.	P	d. traj	Inv. (Am)	37
Robinia pseudoacacia L.	P	d. traj	Inv. (Am)	78
Solidago gigantea Aiton	H	z. traj	Inv. (Am)	22
Sorghum halepense (L.) Pers.	G	z. traj	Cosmop	45

G – Geophyta, H – Hemikryptophyta, P – Phanerophyta, T – Therophyta; 1 – jednogodišnje vrste, d.traj – drvenaste trajnice, z.traj – zeljaste trajnice; Inv. (Am) –invazivna vrste porijeklom iz Amerike, Inv. (Az) – invazivna vrsta porijeklom iz Azije, Cosmop - kozmopolitska ili širokorasprostranjena vrsta

Moguće je istaknuti da kod spektra životnih oblika prikupljenih invazivnih biljnih vrsta, dominiraju Therophyta (T) i to su redom: Abu, Ama, Amb, Dat i Gal (41 %), zatim slijedi Phanerophyta (P) i to: Ail, Rhu i Rob (25 %). U skupinu Hemikryptophyta (H) pripadaju vrste Eri i Sol (17 %), dok u skupinu Geophyta (G) pripadaju vrste Rey i Sor (17 %).

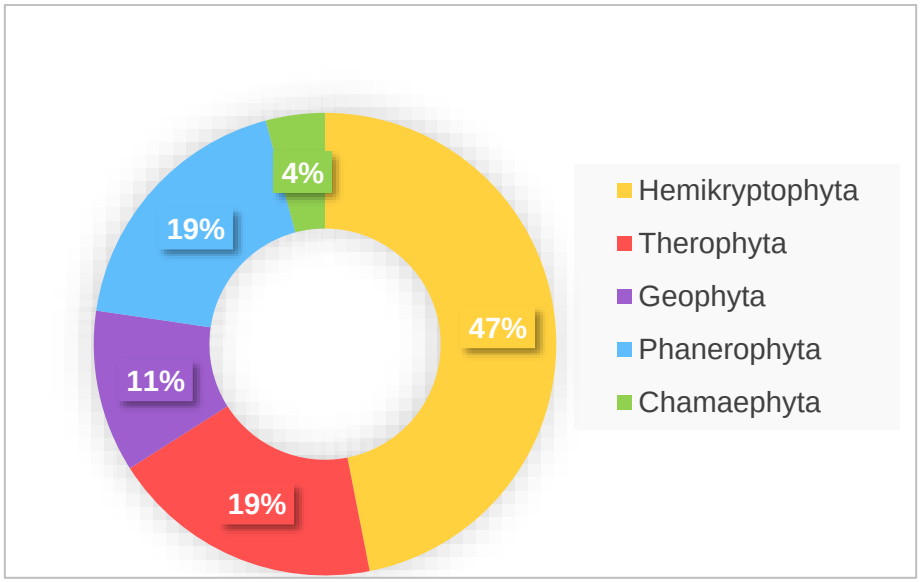
Od dvanaest invazivnih biljnih vrsta uključenih u ovo istraživanje, prema trajanju života najveći broj vrsta pripada među jednogodišnje vrste (1), a to su: Abu, Ama, Amb, Dat i Gal. Eri, Sol (42 %). Rey i Sor pripadaju među zeljaste trajnice (z. traj) (33 %), dok Ail, Rhu i Rob pripadaju među drvenaste trajnice (d. traj) (25 %).

Florni elementi prikazuju kako najveći broj prikupljenih vrsta čine invazivne vrste porijeklom iz Amerike (inv Am): Amb, Eri, Dat, Gal, Rhu, Rob i Sol (58 %), nekoliko vrsta su azijskog porijekla (inv Az): Abu, Ail i Rey (25 %), dok Ama i Sor pripadaju među biljke široke rasprostranjenosti, takozvane kozmopolite (cosmop) (17 %).

Osim navedenog, u Tablici 5 se nalazi i broj ostalih determiniranih vrsta uz svaku od dvanaest invazivnih biljnih vrsta uključenih u istraživanje bez ponavljanja istih vrsta na različitim mikrolokacijama, dok se popis svih ostalih vrsta nalazi u prilogu (Prilogu II, Tablica 1) .

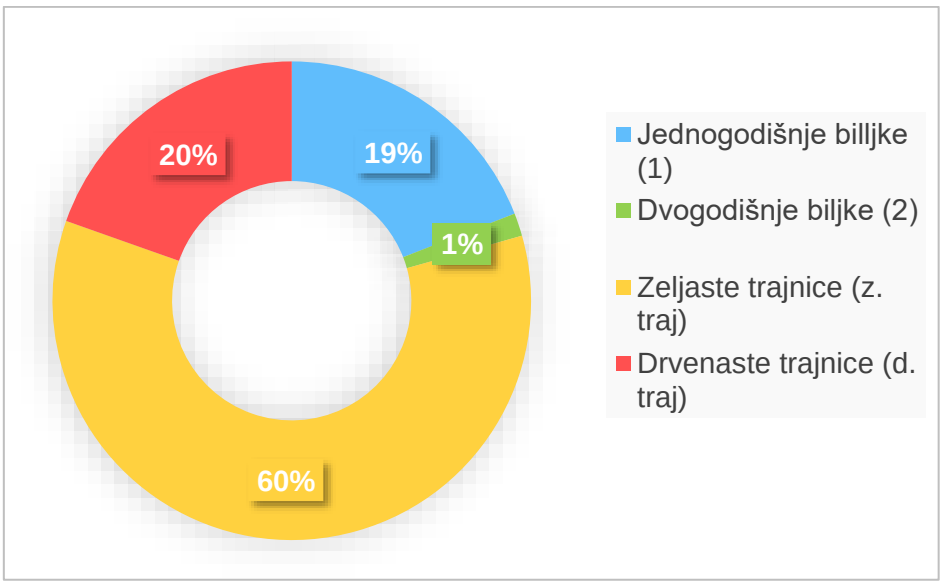
Uz inventarizaciju cijelokupne flore navedenog područja istraživanja, na 24 mikrolokacije prikupljanja uzoraka, ukupno su determinirane 194 različite biljne vrste (Prilog II, Tablica 1). Za sve determinirane vrste (njih ukupno 194), također su određeni životni oblici,

trajanje života i florni elementi. Stoga je na grafikonima 4 - 6 prikazano koji životni oblik, koje trajanje života i koji florni elementi prevladavaju na istraženim mikrolokacijama.



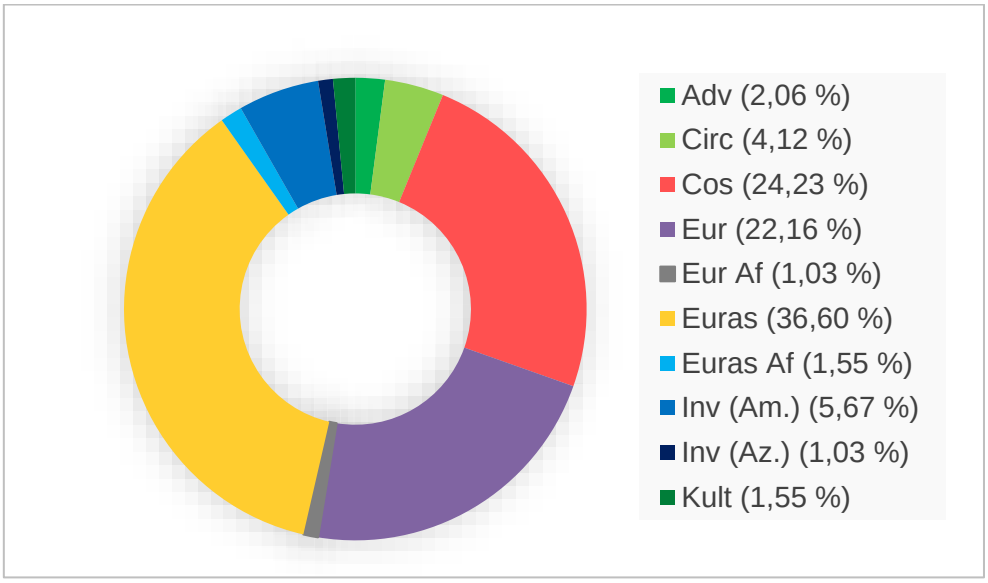
Grafikon 4. Životni oblici cijelokupne flore područja istraživanja

Moguće je istaknuti kako s obzirom na životne oblike determiniranih vrsta cijelokupne flore područja istraživanja (Grafikon 4), dominiraju Hemikryptophyta (njih 91), zatim Therophyta (37), slijede Phanerophyta (36), te Geophyta (22) dok je najmanje zabilježeno Chamaephyta (8).



Grafikon 5. Trajanje života cijelokupne flore područja istraživanja

S obzirom na trajanje života popisanih vrsta (Grafikon 5), utvrđeno je da na istraženom području dominiraju zeljaste trajnice (116), značajno manje ima drvenastih trajnica (38), zatim slijede jednogodišnje biljke (37), dok su zabilježene samo 3 dvogodišnje biljke.



Grafikon 6. Florni elementi cijelokupne flore područja istraživanja
[Adv - strana vrsta, Circ - biljka cirkumholartičke rasprostranjenosti, Cos - kozmopolit ili biljka široke rasprostranjenosti, Eur - biljka porijeklom iz Europe, Eur Af - biljka porijeklom iz Europe i Afrike, Euras - biljka porijeklom iz Europe i Azije, Inv - invazivna strana vrsta, Inv (Am.) - invazivna strana vrsta porijeklom iz Amerike, Inv (Az.) - Invazivna strana vrsta porijeklom iz Azije, Kult - kultivirana vrsta]

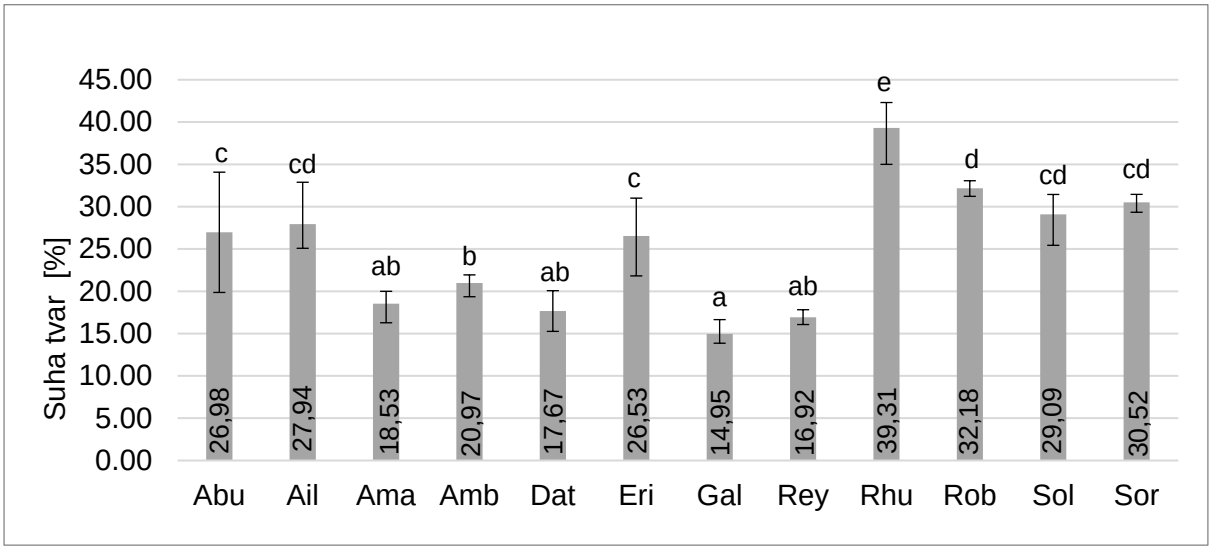
Kao što je prikazano na grafikonu 6, determinirane vrste cijelokupne flore s područja istraživanja porijeklom su iz različitih krajeva svijeta. Florni elementi ukazuju kako je najveći broj vrsta, čak 36,60 % porijeklom iz Euroazije (71), nakon čega slijede kozmopolitske vrste s 24,23 % (47) koje su široko rasprostranjene diljem svijeta, te vrste porijeklom iz područja Europe s 22,16 %, njih ukupno 43. Vrsta koje su porijeklom iz ostalih dijelova svijeta ovisno o pojedinom flornom elementu, ima značajno manje te je svaki preostali florni element zastupljen sa najviše 11 vrsta no često je riječ o samo dvije ili tri vrste.

5.2. Funkcionalna vrijednost istraživanih stranih invazivnih biljnih vrsta

Funkcionalna vrijednost invazivnih biljnih vrsta određena je sadržajem suhe tvari te sastavom i sadržajem pojedinih fitonutrijenata, odnosno bioaktivnih spojeva (askorbinska kiselina, polifenolni spojevi, antioksidacijski kapacitet i fotosintetski pigmenti).

5.2.1. Sadržaj suhe tvari svježeg lista invazivnih biljnih vrsta

Rezultati analize sadržaja suhe tvari lista za uzorke invazivnih biljnih vrsta prikazani su grafički (Grafikon 7). Također, analizom podataka utvrđene su značajne razlike u sadržaju suhe tvari lista između svih istraživanih invazivnih biljnih vrsta. Tako je značajno najviša vrijednost suhe tvari lista utvrđena kod vrste Rhu (39,31 %). Invazivne biljne vrste značajno nižeg sadržaja suhe tvari lista bile su: Abu, Ail, Ama, Amb, Dat, Eri, Gal, Rey, Rob, Sol i Sor. Najniža vrijednost suhe tvari lista utvrđena je za vrstu Gal, sadržaja u iznosu od 14,95 %.



Grafikon 7. Grafički prikaz suhe tvari lista (%) istraživanih stranih invazivnih biljnih vrsta

[Srednje vrijednosti s različitim slovom u eksponentu su statistički značajno različite ($p < 0,05$), prema Tukey HSD testu; Ail - *A. altissima*, Rhu - *R. typhina*, Rob - *R. pseudoacacia*, Abu - *A. theophrasti*, Ama - *A.retroflexus*, Amb - *A. artemisiifolia*, Dat - *D. stramonium*, Eri - *E. annuus*, Gal - *G. ciliata*, Rey - *R. japonica*, Sol - *S. gigantea*, Sor - *S. halepense*]

5.2.2. Askorbinska kiselina, polifenolni spojevi i antioksidacijski kapacitet

Rezultati analize sadržaja askorbinske kiseline, polifenolnih spojeva (ukupnih fenola, ukupnih neflavonoida i ukupnih flavonoida) i antioksidacijskog kapaciteta u analiziranim invazivnim biljnim vrstama prikazani su u Tablici 6. Za sve promatrane parametre, askorbinsku kiselinu, ukupne fenole, neflavonoide i flavonoide utvrđene su značajne razlike ovisno o promatranoj dominantnoj varijabli, odnosno biljnoj vrsti. Najviši sadržaj askorbinske kiseline utvrđen je za vrstu Rhu s vrijednosti od čak 159,7 mg/100 g sv.t., značajno niži sadržaj utvrđen je za vrstu Rey (38,47 mg/100 g sv.t.), zatim nešto niži kod vrste Sor (25,08 mg/100 g sv.t.), dok su najniže vrijednosti askorbinske kiseline utvrđene za sve ostale vrste i to: Sol, Dat, Abu, Amb, Aba, Ail, Gal, Rob i Eri, bez statističke razlike između spomenutih vrsta, a čiji prosječni sadržaj askorbinske kiseline iznosi 19,35 mg/100 g sv.t. Također, analizom podataka utvrđene su statističke razlike između ukupnih fenola za sve analizirane invazivne biljne vrste. Sa

značajno najvišom vrijednosti ukupnih fenola izdvojila se vrsta Rhu (2263,54 mg/100 g sv.t.), dok je za vrstu Gal utvrđen najniži sadržaj ukupnih fenola (142,66 mg/100 g sv.t.). Vrste Rob, Eri i Ail, s prosječnom vrijednosti ukupnih fenola od 1348,47 mg/100 g sv.t. nisu se međusobno statistički razlikovale. Nadalje, vrste Rey i Sol, također se nisu značajno međusobno razlikovale u sadržaju ukupnih fenola s prosječnom vrijednosti od 921,71 mg/100 g sv.t. Još niže vrijednosti ukupnih fenola uočene su kod vrste Sor (506,94 mg/100 g sv.t), dok između vrsta Amb, Abu i Dat nema značajnih razlika u sadržaju ukupnih fenola, čija prosječna vrijednost ukupnih fenola iznosi 320,63 mg/100 g sv.t. Značajne razlike utvrđene su u sadržaju ukupnih neflavonoida između svih analiziranih invazivnih biljnih vrsta. Značajno najviša vrijednost ukupnih neflavonoida od 2006,23 mg/100 g sv.t utvrđena je za vrstu Rhu, slijede vrste Ail i Eri (prosječne vrijednosti ukupnih neflavonoida od 839,03 mg/100 g sv.t), zatim vrsta Sol (541,56 mg/100 g sv.t), te vrsta Rey (290,12 mg/100 g sv.t). Značajne razlike nisu utvrđene kod analiziranih vrsta Abu, Ama, Amb, Dat, Rob i Sor, čija prosječna vrijednost ukupnih neflavonoida iznosi 169,04 mg/100 g sv.t. Najniža vrijednost ukupnih neflavonoida utvrđena je za vrstu Gal i iznosi 42,75 mg/100 g sv.t. Također, značajne razlike utvrđene su između svih analiziranih invazivnih biljnih vrsta u sadržaju ukupnih flavonoida. Najviša vrijednost ukupnih flavonoida uočena je kod vrste Rob u iznosu od 1159,13 mg/100 g sv.t. Nakon Rob, značajno niže vrijednosti ukupnih flavonoida utvrđene su kod vrste Rey (647,51 mg/100 g sv.t.), još niže kod vrste Eri (487,00 mg/100 g sv.t.), kod vrste Ail (449,23 mg/100 g sv.t.), vrste Sol (364,14 mg/100 g sv.t.), vrste Sor (301,59 mg/100) i vrste Rhu (251,98 mg/100 g sv.t.), čiji se sadržaj ukupnih flavonoida međusobno značajno razlikovao. Baš kao i kod svih ostalih promatranih parametara nema začajnih razlika u sadržaju ukupnih flavonoida kod analiziranih vrsta Amb, Abu i Dat s prosječnom vrijednosti ukupnih flavonoida od 169,17 mg/100 g sv.t. Najniža vrijednost ukupnih flavonoida uočena je kod vrste Gal u iznosu od 99,92 mg/100 g sv.t.

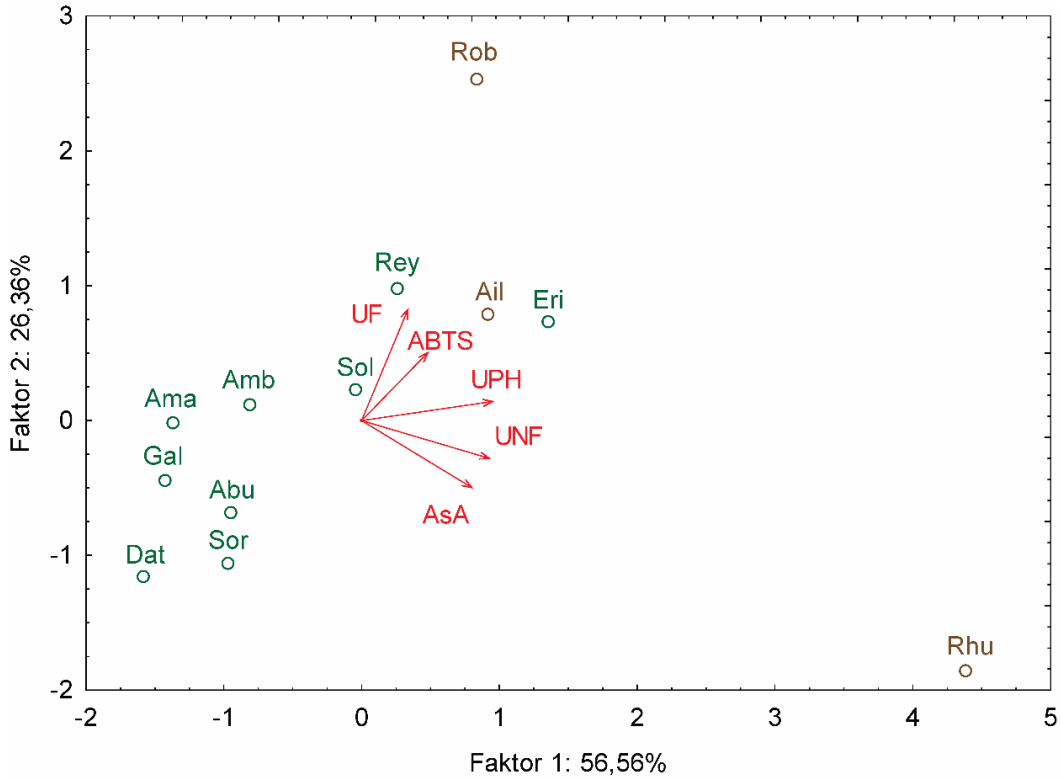
Tablica 6. Sadržaj askorbinske kiseline, polifenolnih spojeva i i antioksidacijskog kapaciteta invazivnih billjnih vrsta

Vrsta	**AsA** mg/100 g sv.t	**UPH** mg GAE/100 g sv.t	**UNF** mg GAE/100 g sv.t	**UF** mg GAE/100 g sv.t	**ABTS** µmol TE/L
Abutilon theophrasti Medik.	20,51±4,2^{a}	334,04±69,87^{ab}	157,18±41,29^{ab}	176,86±30,44^{ab}	1850,76±259,76^{ab}
Ailanthus altissima (Mill.) Swingle	19,13±2,38^{a}	1248,35±593,19^{d}	799,13±460,17^{d}	449,23±159,18^{de}	2174,86±71,48^{cd}
Amaranthus retroflexus L.	19,51±1,6^{a}	187,15±54,23^{a}	82,03±28,82^{ab}	105,13±26,02^{a}	2221,97±12,61^{d}
Ambrosia artemisiifolia L.	19,65±2,32^{a}	342,21±65,84^{ab}	162,21±32,89^{ab}	180,01±33,26^{ab}	2176,13±4,66^{cd}
Datura stramonium L.	21,36±3,64^{a}	285,63±64,02^{ab}	134,99±32,78^{ab}	150,64±31,56^{ab}	1684,49±7,83^{a}
Erigeron annuus (L.) Pers.	16,01±3,62^{a}	1365,93±160,87^{d}	878,93±176,33^{d}	487,00±21,38^{e}	2163,89±40,08^{cd}
Galinsoga ciliata (Raf.) S. F. Blake	19,13±5,26^{a}	142,66±35,33^{a}	42,75±32,65^{a}	99,92±31,14^{a}	2017,7±281,18^{bc}
Reynoutria japonica Houtt.	38,47±8,57^{b}	937,73±66,01^{c}	290,12±19,3^{b}	647,51±57^{f}	2152,54±39,4^{cd}
Rhus typhina L.	159,7±26,41^{c}	2263,54±97,69^{e}	2006,23±69,53^{e}	251,98±107,95^{bc}	2130,9±19,5^{cd}
Robinia pseudoacacia L.	17,14±3,06^{a}	1431,13±199,4^{d}	272,45±89,41^{ab}	1159,13±118,75^{g}	2145,69±114,83^{cd}
Solidago gigantea Aiton	21,67±5,24^{a}	905,69±83,04^{c}	541,56±69,61^{c}	364,14±22,68^{cd}	2091,68±11,25^{cd}
Sorghum halepense (L.) Pers.	25,08±4,66^{ab}	506,94±76,94^{b}	205,36±51,61^{ab}	301,59±25,39^{c}	1666,96±10,51^{a}
Statistička značajnost	*	*	*	*	*
Minimum	16,01	142,66	42,75	99,92	1666,96
Maximum	159,69	2263,53	2006,23	1159,13	2221,97
Prosjek	33,11	829,25	464,41	364,42	2039,80

Statistička značajnost:* p<0,01; Srednje vrijednosti u istom stupcu s različitim eksponentom su statistički različite (p < 0,05) prema Tukey HSD testu [AsA - vitamin C ili askorbinska kiselina, UPH - ukupni fenolni spojevi, UNF - ukupni neflavonoidi, UF - ukupni flavonoidi, ABTS - antioksidacijski kapacitet]

Značajne razlike utvrđene su i u vrijednostima antioksidacijskog kapaciteta istraživanih vrsta. Značajno najviša vrijednost antioksidacijskog kapaciteta utvrđena je kod vrste Ama (2221,98 µmol TE/L), dok su nešto niže vrijednosti utvrđene kod vrsta Ail, Amb, Eri, Rey, Rhu, Rob i Sol bez međusobne statističke razlike između spomenutih vrsta, a čija prosječna vrijednost antioksidacijskog kapaciteta iznosi 2147,96 µmol TE/L. Najniže vrijednosti antioksidacijskog kapaciteta utvrđene su kod vrsta Abu, Dat i Sor bez međusobne statističke razlike među njima, a s prosječnom vrijednosti od 1734,07 µmol TE/L.

PCA analiza sadržaja askorbinske kiseline, polifenolnih spojeva i antioksidacijskog kapaciteta invazivnih billjnih vrsta prikazana je na slici 34, gdje prva glavna komponenta (Faktor 1) objašnjava 56,56 % svih interakcija u promatranom skupu podataka, dok druga glavna komponenta (Faktor 2) opisuje 26,36 % ukupne varijance. PCA prikaz može nam pomoći utvrditi jesu li se i na koji način određene invazivne biljne vrste grupirale s obzirom na promatrane parametre ovisno o građi njihove stabljike (drvenaste i zeljaste vrste). Prema spomenutom prikazu, sve drvenaste vrste: Ail, Rhu, Rob pozicionirale su se s desne strane vektora, dok se najveći udio zeljastih vrsta: Abu, Ama, Amb, Dat, Gal, Sol i Sor (osim Eri i Rey) pozicironirao s lijeve strane vektora.



Slika 34. PCA analiza bioaktivnih spojeva invazivnih biljnih vrsta

[Ail - *A. altissima*, Rhu - *R. typhina*, Rob - *R. pseudoacacia*, Abu - *A. theophrasti*, Ama - *A.retroflexus*, Amb - *A. artemisiifolia*, Dat - *D. stramonium*, Eri - *E. annuus*, Gal - *G. ciliata*, Rob - *R. japonica*, Sol - *S. gigantea*, Sor - *S. halepense;* AsA - askorbinska kiselina, UPH - ukupni fenolni spojevi, UNF - ukupni neflavonoidi, UF - ukupni flavonoidi, ABTS – antioksidacijski kapacitet; drvenaste vrste su označene smeđom bojom, zeljaste zelenom, dok su promatrani parametri označeni vektorima crvene boje]

5.2.3. Fotosintetski pigmenti

Sadržaj fotosintetskih pigmenata: klorofila A, klorofila B, ukupnih klorofila i ukupnih karotenoida kod analiziranih vrsta prikazan je u tablici 7.

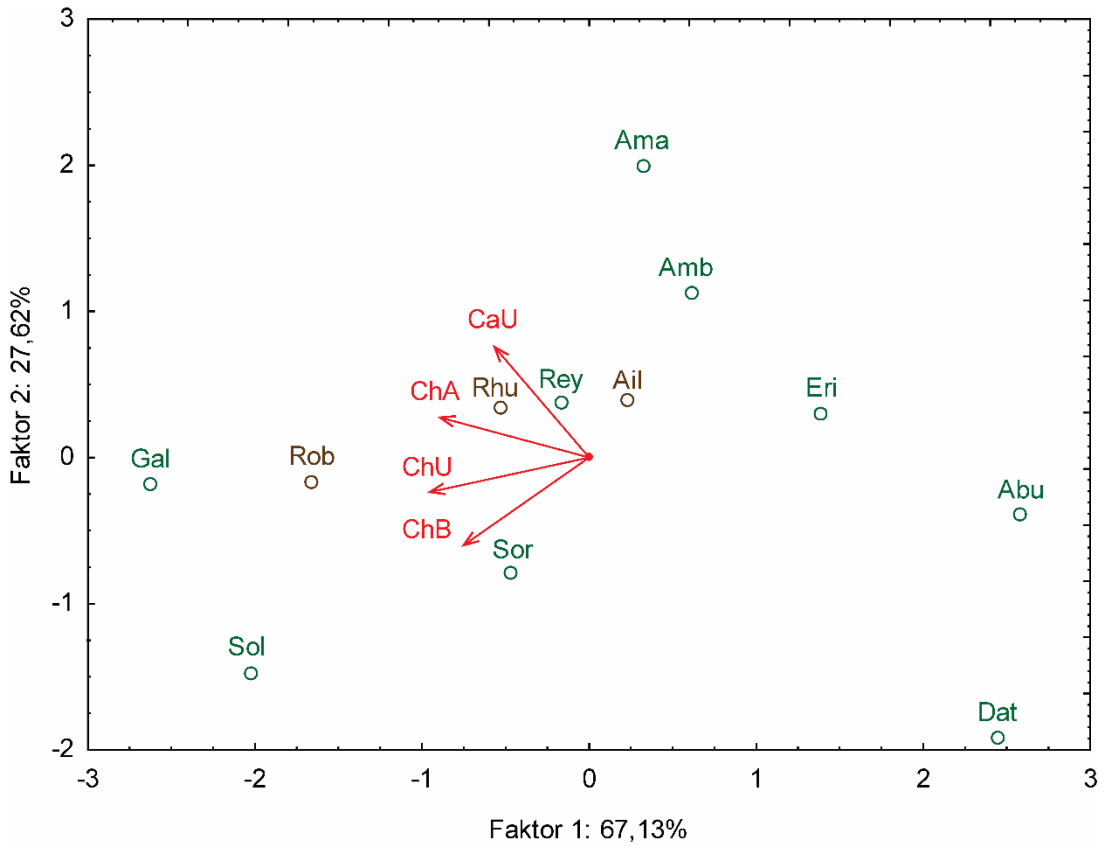
Značajne razlike utvrđene su za sadržaj klorofila A između istraživanih invazivnih vrsta. Najviša vrijednost klorofila A zabilježena je kod vrste Gal (1,06 mg/g), dok je najniža vrijednost klorofila A zabilježena kod vrsta Abu i Dat bez statističke razlike među njima, a s prosječnom vrijednosti od 0,59 mg/g. Značajna razlika u sadržaju klorofila A, također nije utvrđena između vrsta Ail i Rey te između vrsta Ama, Rhu, Rob, Sol i Sor. Također, značajne razlike utvrđene su između svih analiziranih vrsta u sadržaju klorofila B. Najviša vrijednost klorofila B utvrđena je kod vrste Sol (0,93 mg/g), a najniža vrijednost kod vrste Ama (0,35 mg/g). Značajne razlike utvrđene su između svih analiziranih uzoraka i u sadržaju ukupnih klorofila. Najviša vrijednost ukupnih klorofila utvrđena je kod vrste Gal (1,81 mg/g), dok je statistički najniža vrijednost ukupnih klorofila uočena kod vrste Abu (1,01 mg/g). Kao i kod sadržaja ostalih fotosintetskih pigmenata značajne razlike utvrđene su između svih analiziranih vrsta u sadržaju ukupnih karotenoida. Statistički najviši sadržaj ukupnih karotenoida utvrđen je kod vrste Ama (0,26 mg/g), dok je statistički najniži sadržaj ukupnih karotenoida utvrđen kod vrste Dat (0,08 mg/g). Prosječni sadržaj ukupnih karotenoida kod vrsta Ail, Eri, Gal, Rey, Rhu i Sol iznosi 0,22 mg/g, a između kojih nisu utvrđene značajne razlike.

Tablica 7. Sadržaj fotosintetskih pigmenata analiziranih stranih invazivnih biljnih vrsta

Vrsta	**ChA** mg/g	**ChB** mg/g	**ChU** mg/g	**CaU** mg/g
Abutilon theophrasti Medik.	0,59±0,20^{a}	0,43±0,11^{ab}	1,01±0,11^{a}	0,14±0,11^{ab}
Ailanthus altissima (Mill.) Swingle	0,81±0,2^{bc}	0,54±0,16^{abc}	1,35±0,32^{abcd}	0,22±0,06^{bcd}
Amaranthus retroflexus L.	0,87±0,06^{cd}	0,35±0,07^{a}	1,22±0,12^{abc}	0,26±0,02^{d}
Ambrosia artemisiifolia L.	0,80±0,14^{abc}	0,43±0,15^{ab}	1,22±0,28^{abc}	0,23±0,03^{cd}
Datura stramonium L.	0,59±0,05^{a}	0,55±0,04^{abc}	1,13±0,08^{ab}	0,08±0,01^{a}
Erigeron annuus (L.) Pers.	0,63±0,06^{ab}	0,51±0,06^{abc}	1,14±0,12^{ab}	0,21±0,04^{bcd}
Galinsoga ciliata (Raf.) S. F. Blake	1,06±0,04^{d}	0,76±0,18^{de}	1,81±0,19^{e}	0,22±0,05^{bcd}
Reynoutria japonica Houtt.	0,82±0,16^{bc}	0,54±0,1^{abc}	1,35±0,24^{abcd}	0,22±0,05^{bcd}
Rhus typhina L.	0,89±0,28^{cd}	0,57±0,16^{bcd}	1,45±0,42^{bcde}	0,22±0,08^{bcd}
Robinia pseudoacacia L.	0,87±0,16^{cd}	0,78±0,24^{de}	1,64±0,4^{de}	0,24±0,02^{cd}
Solidago gigantea Aiton	0,86±0,07^{cd}	0,93±0,04^{e}	1,78±0,04^{e}	0,20±0,04^{bcd}
Sorghum halepense (L.) Pers.	0,88±0,07^{cd}	0,65±0,18^{cd}	1,53±0,24^{cde}	0,18±0,05^{bc}
Statistička značajnost	*	*	*	*
Minimum	0,59	0,35	1,01	0,08
Maximum	1,06	0,93	1,81	0,26
Prosjek	0,80	0,58	1,38	0,20

Statistička značajnost:* p<0,01; Srednje vrijednosti u istom stupcu (različiti uzorci), s različitim eksponentom su statistički različite (p < 0,05), prema Tukey HSD testu [ChA - klorofil A, ChB - klorofil B, ChU - ukupni klorofili, CaU - ukupni karotenoidi]

Temeljem PCA analize fotosintetskih pigmenata invazivnih biljnih vrsta (Slika 35). uočeno je kako prva glavna komponenta opisuje 67,13 %, dok druga glavna komponenta opisuje 27,62 % interakcija u promatranom skupu podataka. Nema jasnog uzorka grupiranja određenih vrsta oko vektora s obzirom na dominatno promatrano svojstvo, odnosno sadržaj fotosintetskih pigmenata.



Slika 35. PCA analiza fotosintetskih pigmenata stranih invazivnih biljnih vrsta
[Ail - *A. altissima*, Rhu - *R. typhina*, Rob - *R. pseudoacacia*, Abu - *A. theophrasti*, Ama - *A.retroflexus*, Amb - *A. artemisiifolia*, Dat - *D. stramonium*, Eri - *E. annuus*, Gal - *G. ciliata*, Rob - *R. japonica*, Sol - *S. gigantea*, Sor - *S. halepense*; ChA - klorofil A, ChB - klorofil B, ChU - ukupni klorofili, CaU - ukupni karotenoidi; drvenaste vrste su označene smeđom bojom, zeljaste zelenom, dok su promatrani parametri označeni vektorima crvene boje]

5.3. Energetska vrijednost istraživanih stranih invazivnih biljnih vrsta

Za adekvatnu procjenu energetske učinkovitosti biomase kao goriva, nužno je provesti sveobuhvatnu energetsku analizu. Ova analiza obuhvaća procjenu gorivih i negorivih tvari, strukturni sastav biomase, udio makro i mikro elemenata, teških metala te ogrjevne vrijednosti biomase.

5.3.1. Gorive tvari

U tablici 8 prikazane su vrijednosti parametara gorivih tvari invazivnih biljnih vrsta. Analizirani parametri uključuju: suhu tvar, hlapljive tvari, ugljik, sumpor, vodik i kisik te su utvrđene značajne razlike za sve promatrane parametre ovisno o promatranoj biljnoj vrsti. Najviši sadržaj suhe tvari utvrđen je za vrste Rhu i Rob, prosječne vrijednosti 43,93 % bez međusobne značajne razlike između vrsta. Najniži udio suhe tvari uočen kod vrste Rey (10,03 %). Statističke razlike utvrđene su u sadržaju hlapljivih tvari između svih analiziranih invazivnih biljnih vrsta. Značajno najviši sadržaj hlapljivih tvari utvrđen je kod vrsta Rob i Sor, čiji prosječni sadržaj hlapljivih tvari iznosi 74,38 % bez statističke razlike između spomenutih vrsta. Nešto niži sadržaj hlapljivih tvari utvrđen kod vrsta Abu, Ail, Ama, Amb, Dat, Eri, Rey, Rhu i Sol bez statističke razlike između spomenutih vrsta, a čiji prosječni sadržaj hlapljivih tvari iznosi 69,03 %, dok je najniži sadržaj hlapljivih tvari utvrđen kod vrste Gal (61,33 %). Također, analizom podataka utvrđene su statističke razlike i u sadržaju ugljika između svih analiziranih invazivnih biljnih vrsta. Sa značajno najvišim sadržajem ugljika izdvojila se vrsta Rhu (53,16 %), dok je za vrstu Ama (39,01 %) utvrđen najniži sadržaj ugljika. Značajne razlike utvrđene su u sadržaju sumpora kod analiziranih invazivnih biljnih vrsta. Značajno najviši udio sumpora uočen je kod vrste Dat (0,29 %), dok je najniži udio sumpora bez međusobnih statistički značajnih razlika uočen kod vrsta Eri, Rob i Sol, prosječnog sadržaja sumpora od 0,14 %.

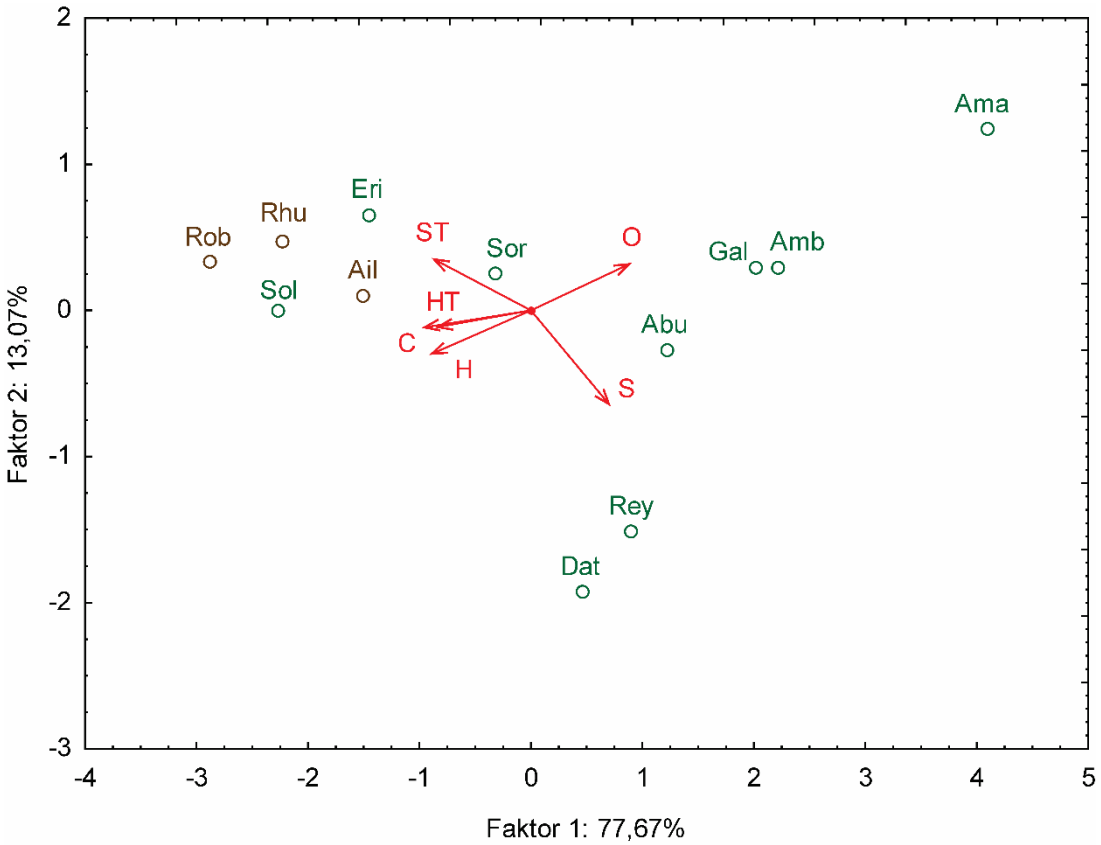
Tablica 8. Gorive tvari istraženih invazivih biljnih vrsta

Vrsta	ST %	HT %	C %	S %	H %	O %
Abutilon theophrasti Medik.	25,31±7,52^{d}	70,23±4,49^{ab}	44,95±3,05^{b}	0,25±0,03^{e}	5,72±0,39^{bc}	46,02±2,67^{e}
Ailanthus altissima (Mill.) Swingle	32,02±3,73^{e}	70,94±1,16^{ab}	50,99±1,07^{efg}	0,15±0,01^{ab}	6,2±0,04^{def}	39,92±0,43^{abc}
Amaranthus retroflexus L.	12,03±1,22^{ab}	62,69±4,17^{ab}	39,01±2,67^{a}	0,22±0,02^{d}	5,08±0,25^{a}	51,85±2,84^{f}
Ambrosia artemisiifolia L.	18,17±1,26^{c}	64,74±1,66^{ab}	43,9±0,86^{b}	0,23±0,01^{de}	5,49±0,06^{b}	46,54±0,72^{e}
Datura stramonium L.	17,49±1,59^{bc}	70,37±1,07^{ab}	48,44±1,82^{d}	0,29±0,03^{f}	6,12±0,23^{de}	41,92±1,09^{cd}
Erigeron annuus (L.) Pers.	34,97±4,78^{e}	70,45±0,84^{ab}	50,83±0,29^{de}	0,14±0,01^{a}	6,17±0,05^{def}	41,57±0,52^{bcd}
Galinsoga ciliata (Raf.) S. F. Blake	15,62±1,49^{bc}	61,33±25,17^{a}	45,32±1,14^{bc}	0,21±0,01^{cd}	5,69±0,15^{b}	45,76±1,3^{e}
Reynoutria japonica Houtt.	10,03±1,52^{a}	66,71±3,88^{ab}	47,42±0,4^{cd}	0,25±0,04^{e}	5,95±0,05^{cd}	39,99±1,25^{abc}
Rhus typhina L.	43,05±5,66^{f}	73,14±3,54^{ab}	53,16±0,55^{g}	0,15±0,01^{ab}	5,96±0,06^{cd}	38,38±0,47^{a}
Robinia pseudoacacia L.	44,8±2,9^{f}	74,25±0,58^{b}	52,7±0,18^{fg}	0,14±0,01^{a}	6,4±0,08^{f}	38,64±0,24^{a}
Solidago gigantea Aiton	36,98±2,29^{e}	72,03±2,92^{ab}	52,25±0,14^{fg}	0,14±0,01^{a}	6,36±0,04^{ef}	39,63±0,21^{ab}
Sorghum halepense (L.) Pers.	25,56±0,99^{d}	74,5±1,69^{b}	48,92±0,44^{de}	0,18±0^{bc}	5,95±0,06^{cd}	43,07±0,68^{d}
Statistička značajnost	*	*	*	*	*	*
Minimum	10,03	61,33	39,01	0,14	5,08	38,38
Maximum	44,80	74,50	53,16	0,29	6,40	51,85
Prosjek	26,34	69,28	48,16	0,19	5,92	42,77

Statistička značajnost:* p<0,01; Srednje vrijednosti u istom stupcu (različiti uzorci), s različitim eksponentom su statistički različite (p < 0,05), prema Tukeyjevom HSD testu [ST – suha tvar, HT – hlapljive tvari, C – ugljik, S – sumpor, H – vodik, O - kisik]

Kao i kod sadržaja ostalih parametara gorivih tvari, statističke razlike utvrđene su u sadržaju vodika kod istraživanih invazivnih biljnih vrsta. Značajno najviši udio vodika utvrđen je kod vrste Rob (6,40 %), dok je najniži udio vodika utvrđen kod vrste Ama (5,08 %). Statističke razlike utvrđene su i u sadržaju kisika kod istraživanih invazivnih biljnih vrsta. Značajno najviši sadržaj kisika uočen je kod vrste Ama (51,85 %), dok je značajno najniži udio kisika uočen je kod vrsta Rhu i Rob bez statističkih razlika između navedenih vrsta (prosječnog sadržaja kisika od 38,51 %).

PCA analiza parametara gorivih tvari istraženih invazivnih biljnih vrsta prikazana je na Slici 36. Prva glavna komponenta (Faktor 1) opisuje 77,67 % svih interakcija u promatranom skupu podataka, dok druga glavna komponenta (Faktor 2) opisuje tek 13,07 % ukupne varijance. Vidljivo je iz PCA prikaza da su se sve analizirane drvenaste invazivne biljne vrste (Ail, Rhu, Rob) grupirale s lijeve strane vektora na koju su usmjereni vektori suhe tvari, hlapljivih tvari, ugljika i vodika. Također, s lijeve strane vektora uz drvenaste vrste grupiralo se i nekoliko zeljastih vrsta (Eri, Sol i Sor) s višim sadržajem suhe tvari, hlapljivih tvari, ugljika i vodika.



Slika 36. PCA analiza gorivih tvari istraženih vrsta

[Ail - *A. altissima*, Rhu - *R. typhina*, Rob - *R. pseudoacacia*, Abu - *A. theophrasti*, Ama - *A.retroflexus*, Amb - *A. artemisiifolia*, Dat - *D. stramonium*, Eri - *E. annuus*, Gal - *G. ciliata*, Rob - *R. japonica*, Sol - *S. gigantea*, Sor - *S. halepense*; ST – suha tvar, HT – hlapljive tvari, C – ugljik, S – sumpor, H – vodik, O – kisik; drvenaste vrste su označene smeđom bojom, zeljaste zelenom, dok su promatrani parametri označeni vektorima crvene boje]

5.3.2. Negorive tvari

Rezultati analiza sadržaja negorivih tvari istraženih invazivnih biljnih vrsta uključuju pepeo, koks, fiksirani ugljik i dušik te su prikazani u tablici 9, dok su analizom podataka utvrđene značajne razlike između istraživanih invazivnih biljnih vrsta u sadržaju pepela, koksa, fiksiranog ugljika i dušika.

Tablica 9. Negorive tvari istraženih vrsta

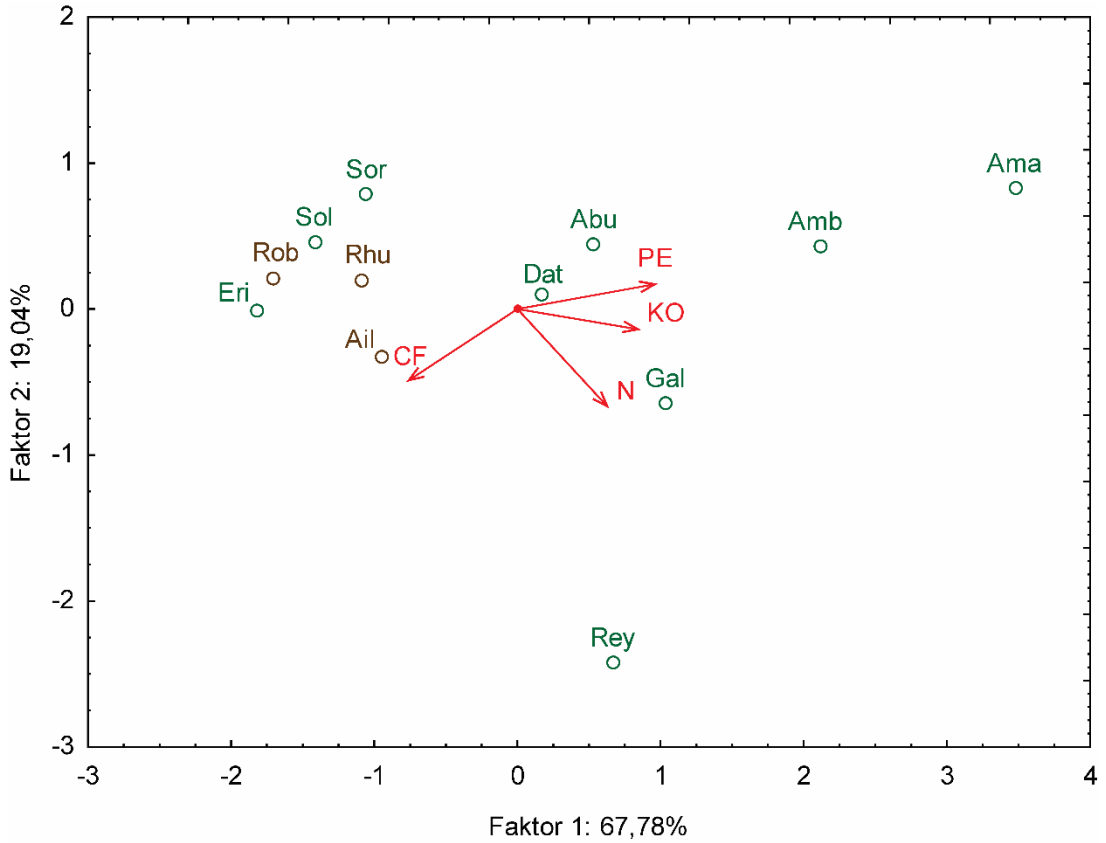
Vrsta	PE	KO	CF	N
Abutilon theophrasti Medik.	14,02±6,34^{de}	23,28±4,96^{abc}	9,28±1,45^{ab}	3,07±0,76^{de}
Ailanthus altissima (Mill.) Swingle	7,66±1,90^{ab}	22,09±1,34^{abc}	14,41±1,83^{ab}	2,73±0,66^{cde}
Amaranthus retroflexus L.	26,90±5,61^{g}	31,42±3,84^{bc}	4,60±1,76^{a}	3,84±0,53^{f}
Ambrosia artemisiifolia L.	20,50±0,92^{f}	27,28±1,93^{abc}	6,87±2,03^{ab}	3,84±0,23^{e}
Datura stramonium L.	12,32±2,18^{cd}	22,94±1,66^{abc}	10,83±1,92^{ab}	3,23±0,99^{de}
Erigeron annuus (L.) Pers.	5,62±0,77^{a}	22,68±1,00^{abc}	17,05±0,42^{b}	1,30±0,46^{a}
Galinsoga ciliata (Raf.) S. F. Blake	16,81±2,51^{ef}	31,67±25,36^{c}	14,87±23,76^{ab}	3,02±0,56^{cde}
Reynoutria japonica Houtt.	10,41±0,59^{bcd}	24,66±3,76^{abc}	14,30±4,12^{ab}	6,39±0,94^{g}
Rhus typhina L.	7,40±0,44^{ab}	20,23±3,59^{abc}	12,84±3,39^{ab}	2,36±0,43^{bcde}
Robinia pseudoacacia L.	4,83±1,07^{a}	18,39±0,55^{a}	13,56±0,81^{ab}	2,12±0,22^{abcd}
Solidago gigantea Aiton	6,94±0,60^{ab}	20,65±2,95^{abc}	13,70±2,74^{ab}	1,62±0,17^{ab}
Sorghum halepense (L.) Pers.	8,11±0,73^{abc}	19,34±1,58^{ab}	11,23±1,03^{ab}	1,88±0,21^{abc}
Statistička značajnost	*	*	**	*
Minimum	4,83	18,39	4,60	1,30
Maximum	26,90	31,67	17,05	6,39
Prosjek	11,79	23,72	11,96	2,95

Statistička značajnost:* p<0,01; Srednje vrijednosti u istom stupcu (različiti uzorci), s različitim eksponentom su statistički različite (p < 0,05), prema Tukey HSD testu [PE – pepeo, KO – koks, CF – fiksirani ugljik, N – dušik]

Značajno najviši sadržaj pepela uočen je kod vrste Ama (26,9 %), zatim slijedi vrsta Amb (20,50 %), pa vrsta Gal (16,81 %), pa Abu (14,02 %), te Dat (12,32 %) i Rey (10,41 %) između čijeg sadržaja pepela postoje značajne razlike. Iako značajne razlike postoje i između ostalih vrsta (Ail, Eri, Rhu, Rob, Sol, Sor) njihov udio pepela niži je od 10 %, dok su statistički najniže vrijednosti uočene kod vrste Rob (4,88 %). Značajno najviši sadržaj koksa uočen je

kod vrste Gal (31,67 %), malo niži sadržaj utvrđen je kod vrste Ama (31,42 %). Slijedio je sadržaj koksa kod vrsta Abu, Ail, Amb, Dat, Eri, Rey, Rhu i Sol bez statističke razlike između vrsta s prosječnim sadržajem koksa od 22,98 %. Značajno najniži sadržaj koksa, kao i kod sadržaja pepela, također je zabilježen kod vrste Rob (18,39 %). Također, analizom podataka utvrđene su statističke razlike između sadržaja fiksiranog ugljika za sve analizirane invazivne biljne vrste. Značajna najviši sadržaj fiksiranog ugljika zabilježen je kod vrste Eri (17,05 %), dok je značajno njaniži sadržaj fiksiranog ugljika utvrđen kod vrste Ama (4,06 %). Svi ostali uzorci međusobno se statistički značajno ne razlikuju te je njihov prosječni sadržaj fiksiranog ugljika iznosio 12,19 %. Statističke razlike utvrđene su i u sadržaju dušika kod istraživanih invazivnih biljnih vrsta. Značajno najniži sadržaj dušika uočen kod vrste Eri (1,30 %), a slijedi vrsta Sol (1,62 %), zatim vrsta Sor (1,88 %), vrsta Rob (2,12 %) pa vrsta Rhu (2,36 %), te vrste Ail i Gal bez statističke razlike među njima prosječnog sadržaja dušika od 2,88 %. Između svih ostalih vrsta postoji statistička razlika u sadržaju dušika koji iznosi između 3,23 % i 3,84 %, dok kod nijedne vrste osim Rey, sadržaj dušika nije viši od 3,84 %. Značajno najviši sadržaj dušika utvrđen je kod vrste Rey te iznosi 6,39 %.

Slika 37 prikazuje PCA analizu negorivih tvari istraživanih invazivnih biljnih vrsta. Prva glavna komponenta (Faktor 1) opisuje 67,78 % svih interakcija u promatranom skupu podataka, dok druga glavna komponenta (Faktor 2) opisuje 19,04 % ukupne varijance. Vidljivo je iz danog prikaza kako su se sve drvenaste vrste grupirale s lijeve strane vektora, zajedno sa zeljastim vrstama Eri, Sor i Sol. Također, spomenute vrste nalaze se u smjeru usmjerenja vektora koji prikazuje parametar fiksirani ugljik, dok su svi ostali vektori usmjereni na suprotnu stranu.



Slika 37. PCA analiza negorivih tvari istraženih vrsta

[Ail - *A. altissima*, Rhu - *R. typhina*, Rob - *R. pseudoacacia*, Abu - *A. theophrasti*, Ama - *A.retroflexus*, Amb - *A. artemisiifolia*, Dat - *D. stramonium*, Eri - *E. annuus*, Gal - *G. ciliata*, Rob - *R. japonica*, Sol - *S. gigantea*, Sor - *S. halepense*; PE – pepeo, KO – koks, CF – fiksirani ugljik, N – dušik; drvenaste vrste su označene smeđom bojom, zeljaste zelenom, dok su promatrani parametri označeni vektorima crvene boje]

5.3.3. Strukturni (lignocelulozni) sastav

Strukturni, odnosno lignocelulozni sastav biomase (celuloza, hemiceluloza, lignin) prikazan je u Tablici 10.

Za sve promatrane parametre, celulozu, hemicelulozu i lignin utvrđene su značajne razlike ovisno o promatranoj dominantnoj varijabli, odnosno biljnoj vrsti. Tako su kod invazivne biljne vrste Rob utvrđeni značajno najviši sadržaji celuloze (36,01 %) i lignina (17,42 %), dok je kod vrste Sor utvrđen najviši sadržaj hemiceluloze (29,25 %). Nešto niži sadržaj celuloze utvrđen je kod vrste Eri (32,97 %), zatim kod vrste Sor (30,81 %), dok su sve ostale vrste imale niži sadržaj celuloze od 30 %. Nešto niži sadržaj hemiceluloze utvrđen je kod vrsta Ail, Ama, Dat, Eri i Rob prosječne vrijednosti 12,28 %, bez statističke razlike između navedenih vrsta, dok su ostale vrste imale ispod 10 % hemiceluloze. Nešto niži sadržaj lignina utvrđen je kod vrste Rey (16,13 %), kod vrste Dat (13,92 %), kod vrste Ail (12,89 %) i kod vrste Gal (11,34), između koji postoje značajne razlike dok je kod svih ostalih vrsta sadržaj lignina bio niži od 10 %. Značajno najniži sadržaj celuloze utvrđen je kod vrsta Rhu i Rey bez statističke

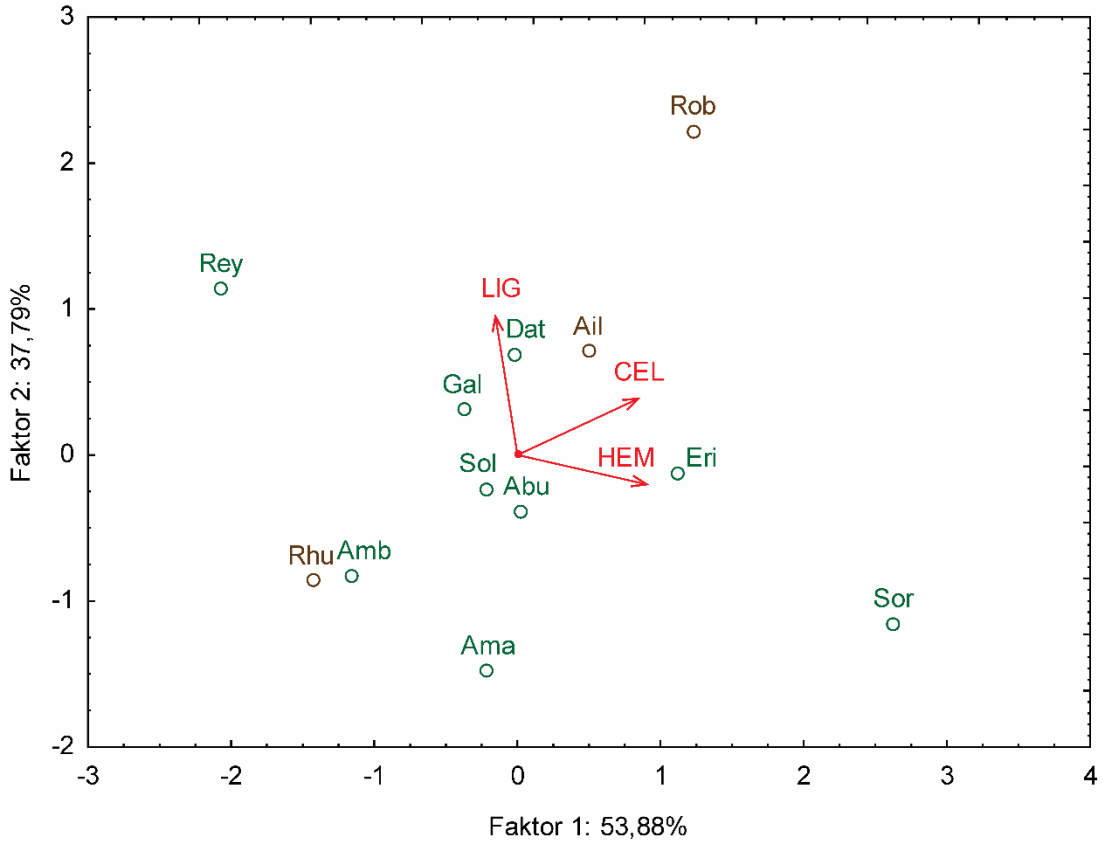
razlike među njima, a prosječnog sadržaja celuloze u iznosu od 16,50 %. Nadalje, za vrstu Rey utvrđen je značajno najniži sadržaj hemiceluloze (0,38 %), dok je značajno najniži sadržaj lignina utvrđen za vrste Ama i Sor prosječne vrijednosti 6,53 % bez značajnih razlika između navedenih vrsta.

Tablica 10. Lignocelulozni sastav biomase invazivnih biljnih vrsta

Vrsta	CEL	HEM	LIG
Abutilon theophrasti Medik.	25,81±1,17^{cde}	9,59±1,68^{cd}	9,11±0,54^{abc}
Ailanthus altissima (Mill.) Swingle	29,19±1,31^{def}	11,94±0,55^{d}	12,89±1,37^{cde}
Amaranthus retroflexus L.	21,12±5,16^{abc}	11,25±1,69^{d}	6,08±1,6^{a}
Ambrosia artemisiifolia L.	19,65±1,4^{ab}	4,3±0,83^{ab}	8,25±1,48^{ab}
Datura stramonium L.	24,56±2,55^{bcd}	12,11±6,94^{d}	13,92±4,72^{def}
Erigeron annuus (L.) Pers.	32,97±5,22^{fg}	12,63±3,02^{d}	8,79±0,83^{ab}
Galinsoga ciliata (Raf.) S. F. Blake	26,37±2,57^{cde}	5,89±1,62^{bc}	11,34±3,17^{bcd}
Reynoutria japonica Houtt.	17,41±6,65^{a}	0,38±0,41^{a}	16,13±5,66^{ef}
Rhus typhina L.	15,59±3,17^{a}	6,31±1,05^{bc}	9,29±1,54^{abc}
Robinia pseudoacacia L.	36,01±1,77^{g}	13,49±1,74^{d}	17,42±1,69^{f}
Solidago gigantea Aiton	26,43±5,76^{cde}	6,6±1,65^{bc}	9,26±1,07^{abc}
Sorghum halepense (L.) Pers.	30,81±1,55^{efg}	29,25±1,25^{e}	6,98±1^{a}
Statistička značajnost	*	*	*
Minimum	15,59	0,38	6,08
Maximum	36,01	29,25	17,42
Prosjek	25,49	10,31	10,79

Statistička značajnost:* p<0,01; Srednje vrijednosti u istom stupcu (različiti uzorci), s različitim eksponentom su statistički različite (p<0,05), prema Tukeyjevom HSD testu; CEL – celuloza, HEM – hemiceluloza, LIG – lignin

Slika 38 prikazuje PCA analizu sadržaja lignoceluloznih komponenta istraženih invazivnih biljnih vrsta. Prvom glavnom komponentom (Faktor 1) objašnjene su varijance i interakcije u promatranom skupu podataka od 53,88 %, dok druga glavna komponenta (Faktor 2) objašnjava 37,79 % ukupne varijabilnosti podataka. Vidljivo je iz PCA prikaza kako nema jasnog uzorka grupiranja određenih vrsta oko vektora s obzirom na njihovu građu stabljike.



Slika 38. PCA analiza strukturnog / lignoceluloznog sastava invazivnih biljnih vrsta [Ail - *A. altissima*, Rhu - *R. typhina*, Rob - *R. pseudoacacia*, Abu - *A. theophrasti*, Ama - *A.retroflexus*, Amb - *A. artemisiifolia*, Dat - *D. stramonium*, Eri - *E. annuus*, Gal - *G. ciliata*, Rob - *R. japonica*, Sol - *S. gigantea*, Sor - *S. halepense*; CEL – celuloza, HEM – hemiceluloza, LIG – lignin; drvenaste vrste su označene smeđom bojom, zeljaste zelenom, dok su promatrani parametri označeni vektorima crvene boje]

5.3.4. Makro i mikro elementi, teški metali

Analiza makro i mikro elemenata, teških metala podijeljena je na dva dijela, gdje su u prvom dijelu prikazani rezultati analize makroelemenata, a u drugom dijelu rezultati mikroelemenata i teških metala u biomasi kao sirovini za proizvodnju energije.

U tablici 11. prikazan je udio makroelemenata kalcija (Ca), kalija (K), magnezija (Mg) i natrija (Na) u biomasi istraživanih invazivnih biljnih vrsta.

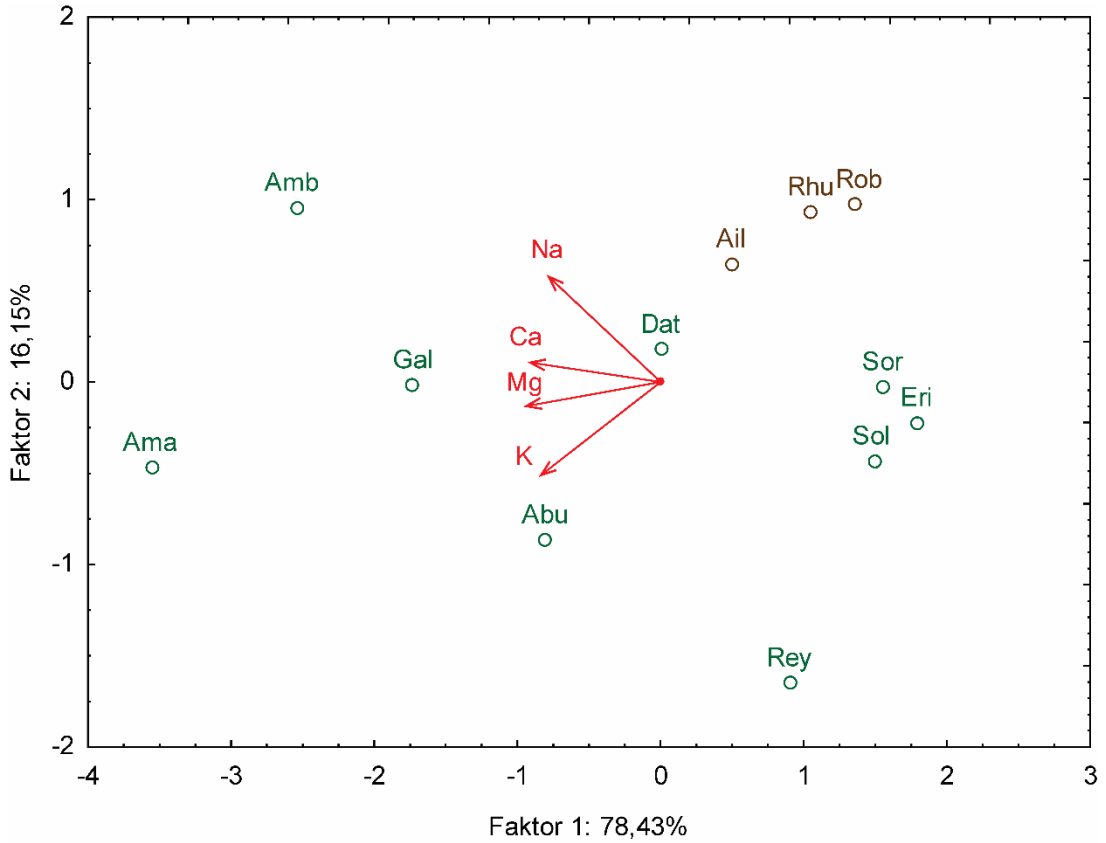
Tablica 11 Makroelementi (Ca, K, Mg, Na) u biomasi invazivnih biljnih vrsta

Vrsta	Ca mg/kg	K mg/kg	Mg mg/kg	Na mg/kg
Abutilon theophrasti Medik.	27056,11±14291,78^{c}	3548,33±1474,37^{c}	4231,44±2823,93^{bc}	92,4±36,1^{abc}
Ailanthus altissima (Mill.) Swingle	12641,89±2515,79^{a}	1700±608,08^{ab}	3599,5±531,14^{abc}	126,64±25,09^{cde}
Amaranthus retroflexus L.	30188,89±4864,85^{c}	5004,44±1571,55^{d}	9296,00±2205,85^{e}	163,32±14,95^{ef}
Ambrosia artemisiifolia L.	27532,44±1166,53^{c}	3126,11±746,69^{c}	7742,02±1186,34^{e}	180,70±4,53^{f}
Datura stramonium L.	14468,19±11972,18^{ab}	2288,33±944,29^{bc}	4622,67±3774,42^{cd}	121,11±47,14^{cd}
Erigeron annuus (L.) Pers.	7961,11±370,74^{a}	1590,33±273,58^{ab}	1842,22±313,61^{ab}	79,50±3,78^{ab}
Galinsoga ciliata (Raf.) S. F. Blake	24094,44±3728,89^{bc}	3305,00±910,27^{c}	7089,44±1136,08^{de}	138,69±17,58^{de}
Reynoutria japonica Houtt.	6448,17±1876,93^{a}	3360,00±276,11^{c}	4015,83±641,53^{bc}	64,37±18,61^{a}
Rhus typhina L.	12417,94±2643,99^{a}	1252,22±524,73^{ab}	2058,61±541,03^{abc}	124,01±26,3^{cde}
Robinia pseudoacacia L.	14164,39±7804,54^{a}	985,67±332,4^{a}	1150,56±607,58^{a}	114,89±38,83^{bcd}
Solidago gigantea Aiton	7721,83±902,12^{a}	1722,44±474,02^{ab}	3161,50±663,05^{abc}	77,13±8,74^{ab}
Sorghum halepense (L.) Pers.	7856,37±1615,27^{a}	1531,11±120,12^{ab}	2505,52±564,07^{abc}	89,68±17,62^{abc}
Statistička značajnost	*	*	*	*
Minimum	6448,17	985,67	1150,56	64,37
Maximum	30188,89	5004,44	9296,00	180,70
Prosjek	16045,98	2451,17	4276,28	114,37

Statistička značajnost:* p<0,01; Srednje vrijednosti u istom stupcu (različiti uzorci), s različitim eksponentom su statistički različite (p < 0,05), prema Tukeyjevom HSD testu

Za sve promatrane elemente (kalcij, kalij, magnezij, natrij) utvrđene su značajne razlike ovisno o njihovom sadržaju u pojedinoj istraživanoj invazivnoj biljnoj vrsti. Značajno najviši sadržaj kalcija utvrđen je kod vrsta Abu, Ama i Amb bez statističke razlike između spomenutih vrsta, a prosječne vrijednosti 28.259,15 mg/kg). Značajno niži sadržaj kalcija utvrđen je kod vrste Gal (24094,44 mg/kg), zatim još niži kod vrste Dat (14468,19 mg/kg), dok je značajno najniži sadržaj kalcija utvđen kod uzoraka Ail, Eri, Rey, Rhu, Rob, Sol i Sor između kojih nije bilo statistički značajnih razlika (s prosječnim sadržajem kalcija u iznosu od 9887,39 mg/kg). Kod vrste Ama utvrđen je značajno najviši sadržaj kalija (5004,44 mg/kg), dok je kod vrsta Ama i Amb utvrđen značajno najviši sadržaj magnezija bez statistički značajnih razlika između spomenutih vrsta, prosječnog sadržaja magnezija u iznosu od 8519,01 mg/kg. Značajno najviši sadržaj natrija utvrđen je kod vrste Amb (180,70 mg/kg). Kod vrste Rob, utvrđen je značajno najniži sadržaj kalija (985,67 mg/kg) i magnezija (1150,56 mg/kg), dok je kod vrste Rey utvrđen značajno najniži sadržaj natrija (64,37 mg/kg).

PCA dijagram (Slika 39.) prikazuje kako su varijance i interakcije u promatranom skupu podataka objašnjene prvom glavnom komponentom (Faktor 1) od čak 78,43 %, dok druga glavna komponenta (Faktor 2) objašnjava tek 16,15 % ukupne varijabilnosti podataka. Također, vidljivo je kako su se sve drvenaste invazivne biljne vrste pozicionirale s desne strane vektora na suprotnoj strani od njihova usmjerenja, osim njih malo niže na istoj strani grupirale su se i tri zeljaste vrste Eri, Sol i Sor.



Slika 39. PCA analiza makroelemenata u biomasi invazivnih biljnih vrsta
[Ail - *A. altissima*, Rhu - *R. typhina*, Rob - *R. pseudoacacia*, Abu - *A. theophrasti*, Ama - *A.retroflexus*, Amb - *A. artemisiifolia*, Dat - *D. stramonium*, Eri - *E. annuus*, Gal - *G. ciliata*, Rob - *R. japonica*, Sol - *S. gigantea*, Sor - *S. halepense*; Drvenaste vrste su označene smeđom bojom, zeljaste zelenom, dok su promatrani parametri označeni vektorima crvene boje]

Od preostalih elemenata, analizirani su udjeli ostalih mikro elemenata i teških metala, stoga je u tablici 12, prikazan sadržaj željeza (Fe), cinka (Zn), bakra (Cu), mangana (Mn), molibdena (Mo), olova (Pb), kroma (Cr), nikla (Ni), kadmija (Cd), kobalta (Co), i žive(Hg) u biomasi istraženih invazivnih biljnih vrsta.

Za sve promatrane elemente (željezo, cink, bakar, mangan, molibden, olovo, krom, nikal, kadmij, kobalt, živa) utvrđene su značajne razlike ovisno o njihovom sadržaju u pojedinoj istraživanoj invazivnoj biljnoj vrsti. Značajno najviši sadržaj željeza utvrđen je kod vrsta Ama i Amb bez statistički značajnih razlika između spomenutih vrsta, prosječnog sadržaja željeza od 639,13 mg/kg, dok je značajno najniži sadržaj željeza utvrđen kod vrsta Eri, Rhu, Sol i Sor prosječnog sadržaja željeza od 87,51 mg/kg bez statistički značajnih razlika između spomenutih vrsta. Kod vrste Amb utvrđen je značajno najviši sadržaj cinka (117,22 mg/kg), bakra (15,27 mg/kg), mangan (115,08 mg/kg), kroma (3,35 mg/kg), kadmija (0,16 mg/kg), kobalta (0,07 mg/kg) i žive (0,02 mg/kg), dok je kod vrste Sol, utvrđen značajno najviši sadržaj molibdena (3,87 mg/kg), olova (5,08 mg/kg) i nikla (0,98 mg/kg).

Značajno najniži sadržaj cinka utvrđen je kod vrsta Ailm, Rhu i Sol prosječnog sadržaja cinka od 22,39 mg/kg bez statistički značajnih razlika između spomenutih vrsta.Značajno najniži sadržaj bakra utvrđen je kod vrste Sor (4,85 mg/kg), značajno najniži sadržaj mangana kod vrste Rob (19,67 mg/kg), dok je statistički najniži sadržaj molibdena utvrđen kod vrsta Dat i Rob, prosječnog sadržaja molibdena od 0,81 mg/kg bez statistički značajnih razlika između spomenutih vrsta, a statistički najniži sadržaj olova kod vrsta Dat, Rhu i Rob bez statistički značajnih razlika između spomenutih vrsta, prosječnog sadržaja olova od 1,02 mg/kg.

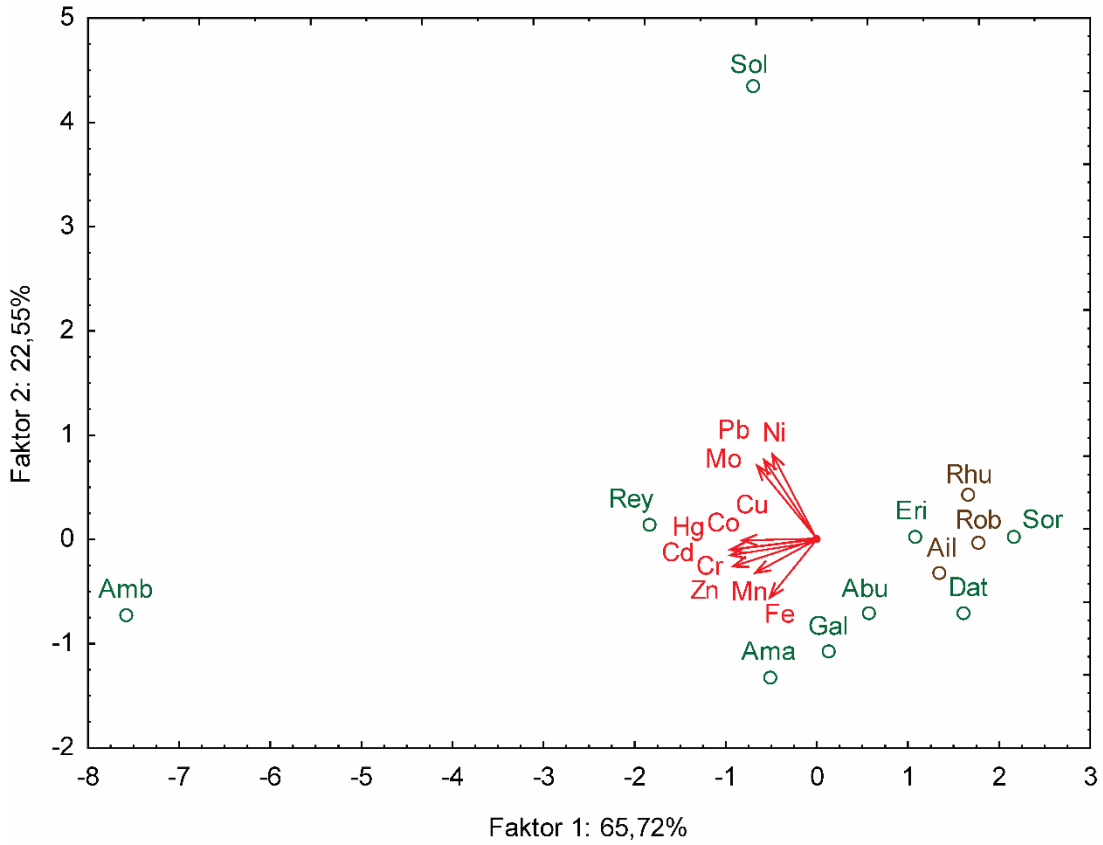
Značajno najniži sadržaj kroma utvrđen je kod vrste Sol (0,61 mg/kg), dok je značano najniži sadržaj nikla utvrđen kod vrsta Dat i Rob bez statistički značajnih razlika između spomenutih vrsta (prosječnog sadržaja nikla u iznosu od 0,205 mg/kg). Statistički najniži sadržaj kadmija utvrđen je kod vrste Sor (0,07 mg/kg), dok je značajno najniži sadržaj kobalta bez statističkih razlika među vrstama utvrđen kod vrsta Ail, Dat, Rhu, Rob i Sor (prosječnog sadržaja kobalta u iznosu od 0,03 mg/kg), a značajno najniži udio žive kod vrsta Ail, Dat, Rhu i Rob bez statistički značajnih razlika između spomenutih vrsta (prosječnog sadržaja žive od 0,01 mg/kg).

Tablica 12. Udio ostalih mikro elemenata i teških metala u biomasi invazivnih biljnih vrsta

Vrsta	Fe	Zn	Cu	Mn	Mo	Pb	Cr	Ni	Cd	Co	Hg
Abutilon theophrasti Medik.	453,22 ±259,44^{bcd}	35,57 ±7,01^{bc}	7,09 ±1,34^{abc}	45,97 ±22,02^{abc}	1,05 ±0,13^{ab}	1,29 ±0,15^{ab}	1,02 ±0,2^{bc}	0,24 ±0,02^{ab}	0,09 ±0,01^{bc}	0,04 ±0,01^{ab}	0,01 ±0,01^{ab}
Ailanthus altissima (Mill.) Swingle	171,19 ±150,17^{abc}	22,24 ±5,54^{a}	8,43 ±2,93^{bc}	65,99 ±39,57^{bcd}	0,89 ±0,13^{ab}	1,1 ±0,16^{ab}	0,68 ±0,19^{ab}	0,23 ±0,03^{ab}	0,08 ±0,01^{abc}	0,03 ±0,01^{a}	0,01 ±0,01^{a}
Amaranthus retroflexus L.	643,58 ±293,85^{d}	41,75 ±8,21^{c}	7,99 ±1,14^{abc}	96,85 ±72,82^{de}	1,12 ±0,12^{b}	1,41 ±0,15^{b}	1,19 ±0,23^{c}	0,28 ±0,03^{b}	0,09 ±0,01^{c}	0,04 ±0,01^{b}	0,01 ±0,01^{b}
Ambrosia artemisiifolia L.	634,68 ±60,83^{d}	117,22 ±9,01^{e}	15,27 ±1,96^{e}	115,08 ±20,53^{e}	2,6 ±0,16^{d}	3,25 ±0,23^{d}	3,35 ±0,26^{e}	0,65 ±0,04^{d}	0,16 ±0,01^{e}	0,07 ±0,01^{d}	0,02 ±0,01^{d}
Datura stramonium L.	368,38 ±406,14^{abcd}	30,59 ±7,71^{abc}	5,77 ±1,45^{ab}	40,57 ±15,91^{ab}	0,8 ±0,11^{a}	1,00 ±0,14^{a}	0,87 ±0,22^{abc}	0,2 ±0,03^{a}	0,07 ±0,01^{ab}	0,03 ±0,01^{a}	0,01 ±0,01^{a}
Erigeron annuus (L.) Pers.	80,61 ±29,51^{a}	31,67 ±3,98^{abc}	10,14 ±1,26^{cd}	24,42 ±4,92^{ab}	0,89 ±0,31^{ab}	1,23 ±0,11^{ab}	0,91 ±0,12^{abc}	0,25 ±0,02^{ab}	0,08 ±0,01^{abc}	0,03 ±0,01^{ab}	0,01 ±0,01^{ab}
Galinsoga ciliata (Raf.) S. F. Blake	476,58 ±275,85^{cd}	37,08 ±6,86^{c}	8,81 ±2,34^{bc}	85,66 ±28,32^{cde}	0,98 ±0,05^{ab}	1,24 ±0,07^{ab}	1,06 ±0,2^{c}	0,24 ±0,01^{ab}	0,08 ±0,01^{abc}	0,03 ±0,01^{ab}	0,01 ±0,01^{ab}
Reynoutria japonica Houtt.	152,54 ±48,75^{ab}	58,38 ±4,65^{d}	13,19 ±1,99^{de}	35,31 ±8,47^{ab}	1,55 ±0,07^{c}	1,92 ±0,09^{c}	1,67 ±0,13^{d}	0,39 ±0,02^{c}	0,11 ±0,01^{d}	0,05 ±0,01^{c}	0,02 ±0,01^{c}
Rhus typhina L.	98,51 ±13,63^{a}	23,5 ±8,08^{a}	8,28 ±1,3^{bc}	23,24 ±6,47^{ab}	0,86 ±0,17^{ab}	1,06 ±0,2^{a}	0,67 ±0,23^{ab}	0,22 ±0,04^{ab}	0,07 ±0,01^{ab}	0,03 ±0,01^{a}	0,01 ±0,01^{a}
Robinia pseudoacacia L.	183,09 ±219,81^{abc}	24,03 ±15,05^{ab}	8,08 ±4,16^{abc}	19,67 ±15,7^{a}	0,82 ±0,27^{a}	1,00 ±0,32^{a}	0,69 ±0,43^{ab}	0,21 ±0,07^{a}	0,07 ±0,02^{ab}	0,03 ±0,01^{a}	0,01 ±0,01^{a}
Solidago gigantea Aiton	56,4 ±7,69^{a}	21,44 ±4,33^{a}	8,51 ±2,27^{bc}	41,32 ±6,26^{ab}	3,87 ±0,34^{e}	5,08 ±0,39^{e}	0,61 ±0,12^{a}	0,98 ±0,09^{e}	0,08 ±0,02^{abc}	0,04 ±0,01^{ab}	0,01 ±0,01^{ab}
Sorghum halepense (L.) Pers.	114,51 ±26,37^{a}	24,37 ±3,6^{ab}	4,85 ±0,86^{a}	26,37 ±10,61^{ab}	0,88 ±0,11^{ab}	1,1 ±0,14^{ab}	0,7 ±0,1^{ab}	0,22 ±0,03^{ab}	0,07 ±0,02^{a}	0,03 ±0,01^{a}	0,01 ±0,01^{ab}
Statistička značajnost	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Minimum	56,40	21,44	4,85	19,67	0,80	1,00	0,61	0,20	0,07	0,03	0,01
Maximum	643,58	117,22	15,27	115,08	3,87	5,08	3,35	0,98	0,16	0,07	0,02
Prosjek	286,11	38,99	8,87	51,71	1,36	1,72	1,12	0,34	0,09	0,04	0,01

Statistička značajnost:* p<0,01; Srednje vrijednosti u istom stupcu (različiti uzorci), s različitim eksponentom su statistički različite (p<0,05), prema Tukeyjevom HSD testu

PCA dijagram (Slika 40) prikazuje kako su varijance i interakcije invazivnih biljnih vrsta s obzirom na sadržaj mikro elemenata i teških metala u promatranom skupu podataka objašnjene prvom glavnom komponentom (Faktor 1) od čak 65,72 %, dok druga glavna komponenta (Faktor 2) objašnjava samo 22,55 % ukupne varijabilnosti podataka. Također, vidljivo je kako su se sve drvenaste invazivne biljne vrste pozicionirale s desne strane vektora na suprotnoj strani od njihova usmjerenja, dok su zajedno s drvenastim vrstama grupirane i tri zeljaste vrste Eri, Dat i Sor.



Slika 40. PCA analiza ostalih mikro elemenata i teških metala u biomasi invazivnih biljnih vrsta

[Ail - *A. altissima*, Rhu - *R. typhina*, Rob - *R. pseudoacacia*, Abu - *A. theophrasti*, Ama - *A.retroflexus*, Amb - *A. artemisiifolia*, Dat - *D. stramonium*, Eri - *E. annuus*, Gal - *G. ciliata*, Rob - *R. japonica*, Sol - *S. gigantea*, Sor - *S. halepense*; Drvenaste vrste su označene smeđom bojom, zeljaste zelenom, dok su promatrani parametri označeni vektorima crvene boje]

5.3.5. Ogrjevna vrijednost

Ogrjevna vrijednost jedan je od najvažnijih parametara koji pomaže u procjeni energetske učinkovitosti biomase kao goriva, stoga su u tablici 13 prikazane gornja (HHV) i donja (LHV) ogrjevna vrijednost biomase istraživanih invazivnih biljnih vrsta.

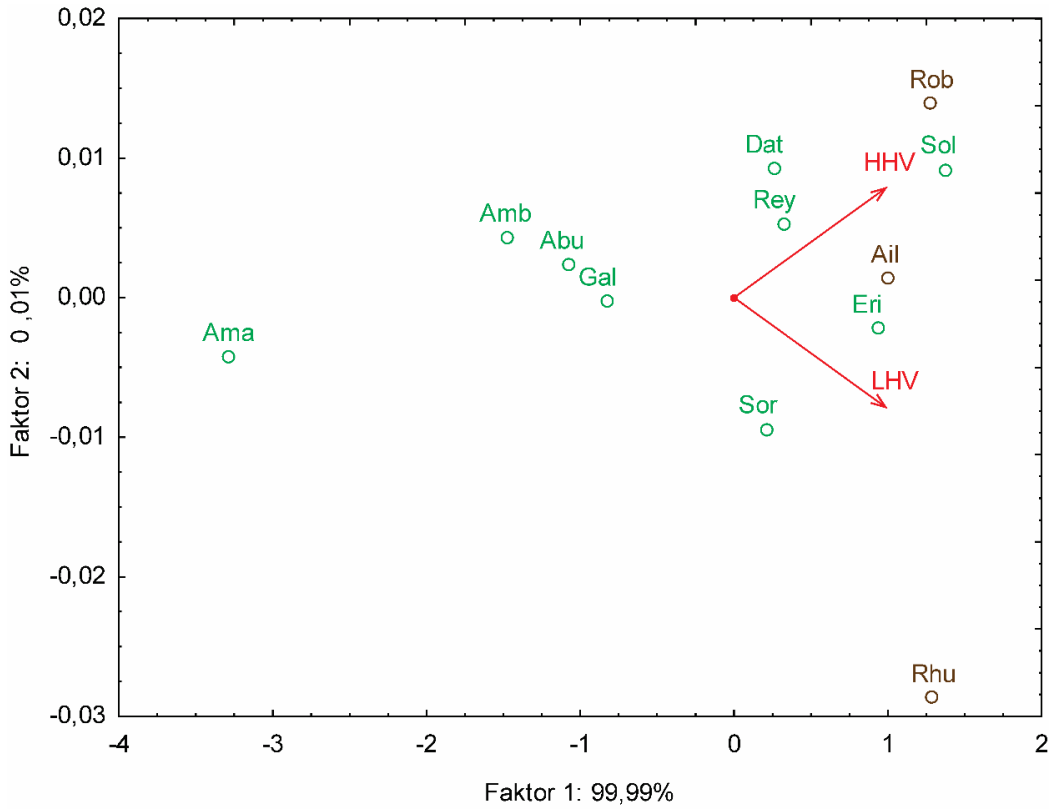
Tablica 13. Ogrjevne vrijednosti biomase invazivnih biljnih vrsta

Vrsta	HHV MJ/kg	LHV MJ/kg
Abutilon theophrasti Medik.	16,42±1,13^{b}	15,07±1,03^{b}
Ailanthus altissima (Mill.) Swingle	19,15±0,58^{de}	17,69±0,58^{de}
Amaranthus retroflexus L.	13,48±0,99^{a}	12,27±0,94^{a}
Ambrosia artemisiifolia L.	15,89±0,3^{b}	14,56±0,3^{b}
Datura stramonium L.	18,19±1,06^{cd}	16,75±1,01^{cd}
Erigeron annuus (L.) Pers.	19,07±0,29^{cde}	17,62±0,29^{cde}
Galinsoga ciliata (Raf.) S. F. Blake	16,74±0,66^{b}	15,39±0,64^{b}
Reynoutria japonica Houtt.	18,27±0,17^{cd}	16,84±0,16^{cd}
Rhus typhina L.	19,46±0,38^{e}	18,06±0,37^{e}
Robinia pseudoacacia L.	19,53±0,16^{e}	18,02±0,15^{e}
Solidago gigantea Aiton	19,67±0,39^{e}	18,16±0,39^{e}
Sorghum halepense (L.) Pers.	18,11±0,24^{c}	16,71±0,23^{c}
Statistička značajnost	*	*
Minimum	13,48	12,27
Maximum	19,67	18,16
Prosjek	17,83	16,43

Statistička značajnost:* p<0,01; Srednje vrijednosti u istom stupcu (različiti uzorci), s različitim eksponentom su statistički različite (p<0,05), prema Tukeyjevom HSD testu; HHV – gornja ogrjevna vrijednost, LHV – donja ogrjevna vrijednost

Analizom podataka utvrđene su značajne razlike između svih analiziranih invazivnih biljnih vrsta u ogrjevnim vrijednostima. Tako je značajno najviša gornja ogrjevna vrijednost utvrđena za vrste Rhu, Rob i Sol (prosječne vrijednosti 19,55 MJ/kg) bez statističke razlike među njima, nešto niži sadržaj imala je vrsta Ail (19,15 MJ/kg), zatim vrsta Eri (19,07 MJ/kg), pa vrste Dat i Rey bez statističke razlike među njima, prosječne vrijednosti od 18,23 MJ/kg, te vrsta Sor (18,11 MJ/kg). Sve ostale vrste imale su gornju ogrjevnu vrijednost nižu od 18 MJ/kg, dok je statistički najniža gornja ogrjevna vrijednost utvrđena kod vrste Ama (13,48 MJ/kg). Također, kod vrste Ama (12,27 MJ/kg), utvrđena je i značajno najniža donja ogrjevna vrijednost, dok je značajno najviša donja ogrjevna vrijednost utvrđena kod vrsta Rhu, Rob i Sol bez statističke razlike među spomenutim vrstama, prosječne vrijednosti od 18,08 MJ/kg.

PCA analiza gornje i donje ogrijevne vrijednosti invazivnih billjnih vrsta prikazana je na slici 41, gdje prva glavna komponenta (Faktor 1) objašnjava najveći dio, točnije skoro svu varijabilnost u podacima od čak 99,99 % dok druga glavna komponenta (Faktor 2) objašnjava tek 0,01 % ukupne varijabilnosti podataka. Sve analizirane drvenaste vrste, pozicinirane su s desne strane vektora koji predstavljaju promatrane parametre gornju i donju ogrjevnu vrijednost, dok se s desne strane vektora uz drvenaste vrste nalaze i zeljaste vrste Dat, Eri, Rey, Sol i Sor.



Slika 41. PCA analiza ogrjevnih vrijednosti biomase uzoraka invazivnih biljnih vrsta [Ail - *A. altissima*, Rhu - *R. typhina*, Rob - *R. pseudoacacia*, Abu - *A. theophrasti*, Ama - *A.retroflexus*, Amb - *A. artemisiifolia*, Dat - *D. stramonium*, Eri - *E. annuus*, Gal - *G. ciliata*, Rob - *R. japonica*, Sol - *S. gigantea*, Sor - *S. halepense*; HHV – gornja ogrjevna vrijednost, LHV – donja ogrjevna vrijednost, drvenaste vrste su označene smeđom bojom, zeljaste zelenom, dok su promatrani parametri označeni vektorima crvene boje]

5.4. Korelacije funkcionalne i energetske vrijednosti invazivnih biljnih vrsta

Povezanost energetske i funkcionalne vrijednosti, odnosno zasebnih parametara koji opisuju navedene vrijednosti drvenastih i zeljastih vrsta utvrđena je analizom korelacija, putem Pearson-ovog koeficijenta linearne korelacije. Vrijednost koeficijenta korelacije od 0,00 do 1,00 je pozitivna korelacija i označava sukladan rast vrijednosti obje skupine podataka. Vrijednost koeficijenta korelacije od 0,00 do (-)1,00 označava negativnu korelaciju, odnosno dvije promatrane varijable obrnuto su proporcionalne. Kada koeficijent korelacije ima vrijednost 0, tada on označava kako linearna povezanost ne postoji što upućuje na činjenicu kako upoznajući vrijednosti jedne varijable ne možemo ništa zaključiti o vrijednostima druge. Kod interpretacije rezultata, vrijednosti korelacije od ±1,00 označavaju potpunu pozitivnu/negativnu korelaciju; od ±0,90 do ±0,99 vrlo snažnu pozitivnu/negativnu korelaciju; od ±0,70 do ±0,90 snažnu pozitivnu/negativnu korelaciju; od ±0,50 do ±0,70 umjerenu pozitivnu/negativnu korelaciju; od ±0,30 do ±0,50 slabu pozitivnu/negativnu korelaciju; od ±0,10 do ±0,30 vrlo slabu pozitivnu/negativnu korelaciju te od 0,00 do ± 0,10 izrazito slabu pozitivnu/negativnu korelaciju (Udovičić i sur., 2017).

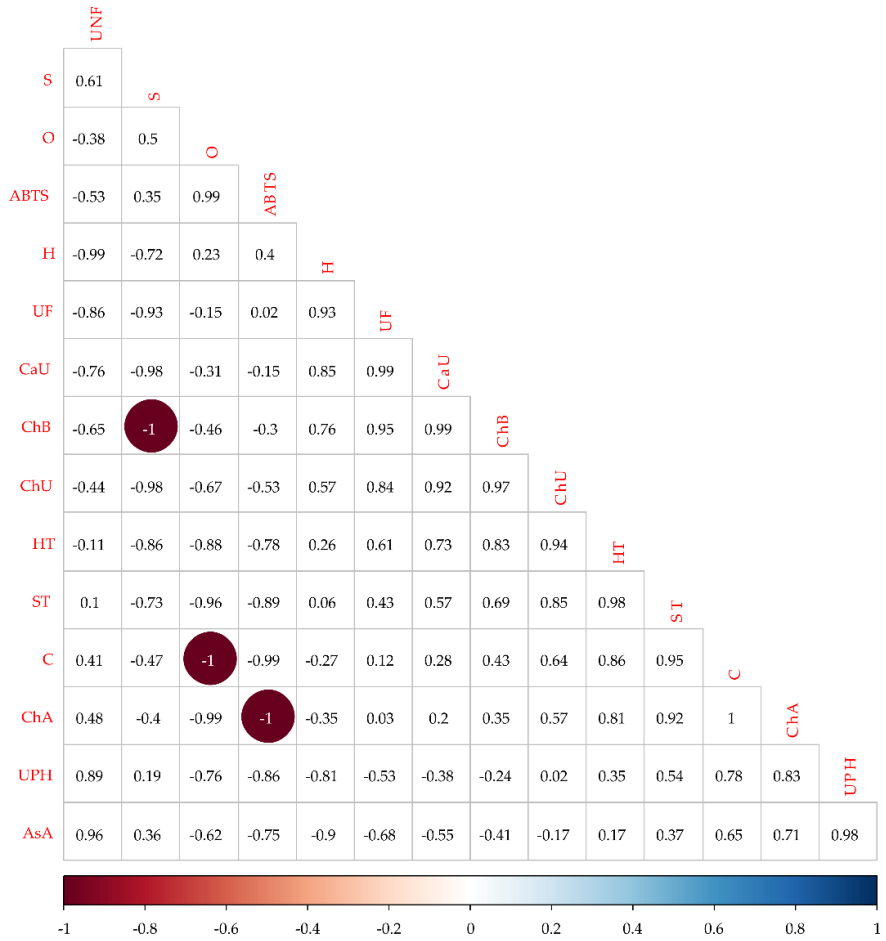
Također, uz koeficijent korelacije (r) važno je navesti i p-vrijednost koja označava vjerojatnost da je statistička značajnost veća ukoliko je nulta hipoteza istinita. U ovakvoj vrsti istraživanja uobičajeno je da se nulta hipoteza odbacuje ukoliko je $p<0.05$.

Na slikama od 42 do 53 prikazani su Pearsonovi koeficijenti korelacije (r) za povezanost funkcionalne i energetske vrijednosti u uzorcima drvenastih i zeljastih invazivnih biljnih vrsta s granicom značajnosti + $p<0.01$; * $p<0.05$; ** $p<0.10$. Na spomenutim slikama statistički značajne korelacije označene su crvenim ili plavim krugovima ovisno je li prikazana pozitivna (plavi krug) ili negativna (crveni krug) značajna korelacija, dok se p-vrijednosti prema statističkoj značajnosti (+ $p<0.01$; * $p<0.05$; ** $p<0.10$) nalaze u Prilogu III (Prilog III, Tablica 1-12).

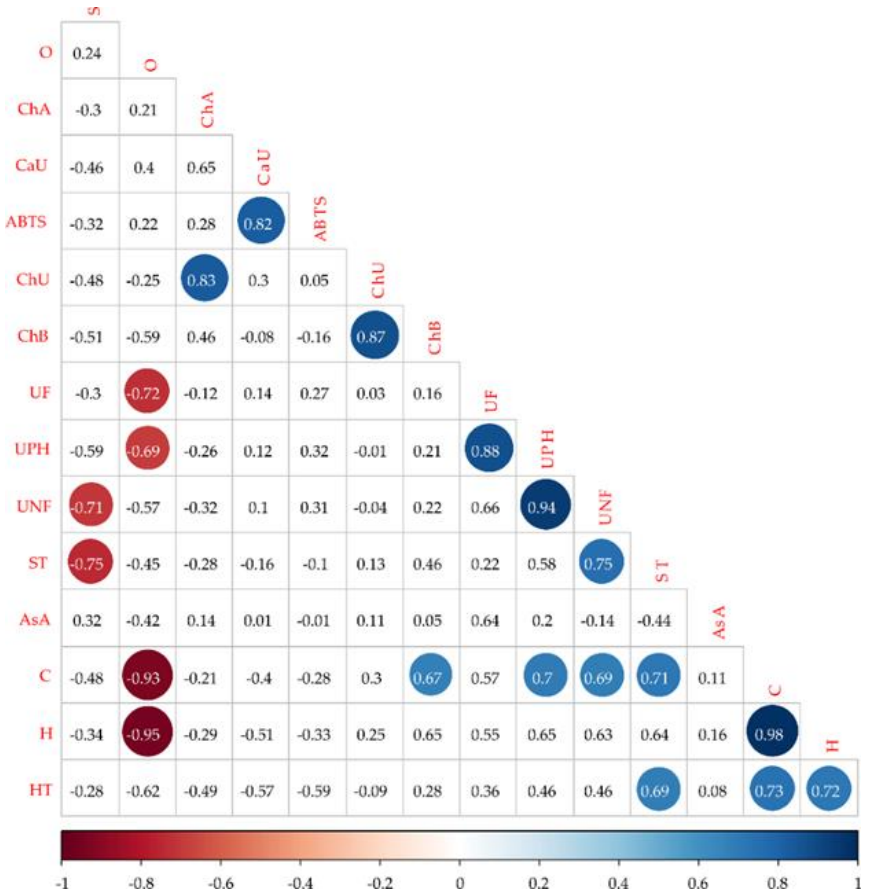
Analizom korelacija moguće je izvući nekoliko indikativnih rezultata vezanih uz odnos funkcionalne i energetske vrijednosti kod drvenastih i zeljastih invazivnih biljnih vrsta. Prilikom analiza korišteni su podaci za: tri drvenaste vrste (Ail - *A. altissima*, Rhu - *R. typhina*, Rob - *R. pseudoacacia*) prilikom čega je u ukupnoj analizi broj drvenastih uzoraka (n_d) jednak 3 ($n_d=3$) te ukupno devet uzoraka zeljastih invazivnih biljnih vrsta (Abu - *A. theophrasti*, Ama - *A.retroflexus*, Amb - *A. artemisiifolia*, Dat - *D. stramonium*, Eri - *E. annuus*, Gal - *G. ciliata*, Rob - *R. japonica*, Sol - *S. gigantea*, Sor - *S. halepense*) prilikom čega je u ukupnoj analizi broj zeljastih uzoraka (n_z) jednak 9 ($n_z=9$).

5.4.1. Korelacije funkcionalne vrijednosti i gorivih tvari kod drvenastih i kod zeljastih invazivnih biljnih vrsta

Na slikama 42 i 43 prikazane su korelacije funkcionalne vrijednosti (askorbinska kiselina, ukupni flavonoidi, ukupni neflavonoidi, ukupni fenolni spojevi, klorofil A, klorofil B, ukupni klorofili, ukupni karotenoidi i antioksidacijski kapacitet) i gorivih tvari energetske vrijednosti (suha tvar, hlapljive tvari, ugljik, sumpor, vodik, kisik) drvenastih i zeljastih invazivnih biljnih vrsta. Kod **drvenastih** invazivnih vrsta (Slika 42) uočena je potpuna negativna korelacija između klorofila B i sumpora ($r= -1,00$; $p<0,05$), ugljika i kisika ($r= -1,00$; $p<0,05$) te između klorofila A i antioksidacijskog kapaciteta ($r= -1,00$; $p<0,05$), dok za ostale promatrane parametre funkcionalne i energetske vrijednosti invazivnih biljnih vrsta nije utvrđena statistička značajnost. Kod **zeljastih** invazivnih vrsta (Slika 43) vrlo snažna negativna korelacija utvrđena je između vodika i kisika ($r= -0,95$; p $p<0,05$), ugljika i kisika ($r= -0,93$; p $p<0,05$). Snažna negativna korelacija uočena je između suhe tvari i sumpora ($r= -0,75$; p $p<0,05$), ukupnih flavonoida i kisika ($r= -0,72$; p $p<0,05$) te između ukupnih neflavonoida i sumpora ($r= -0,71$; $p<0,05$), dok je umjerena negativna korelacija utvrđena između ukupnih fenolnih spojeva i kisika ($r= -0,69$; p $p<0,05$). Suprotno, pozitivne korelacije utvrđene su između slijedećih parametara kako slijedi: vrlo snažna pozitivna korelacija uočena je između vodika i ugljika ($r= 0,98$; p $p<0,05$) i između ukupnih neflavonoida i ukupnih fenolnih spojeva ($r= 0,94$; p $p<0,05$). Nadalje, snažna pozitivna korelacija utvrđena je između ukupnih fenolnih spojeva i ukupnih flavonoida ($r= 0,88$; p $p<0,05$), klorofila B i ukupnih klorofila ($r= 0,87$; p $p<0,05$), ukupnih klorofila i klorofila A ($r= 0,83$; $p<0,05$), antioksidacijskog kapaciteta i ukupnih karotenoida ($r= 0,82$; p $p<0,05$), suhe tvari i ukupnih neflavonoida ($r= 0,75$; p $p<0,05$), hlapljivih tvari i ugljika ($r= 0,73$; $p<0,05$), hlapljivih tvari i vodika ($r= 0,72$; p $p<0,05$), ugljika i suhe tvari ($r= 0,71$; p $p<0,05$), ugljika i ukupnih fenolnih spojeva ($r= 0,7$; p $p<0,05$). Umjerena pozitivna korelacija zabilježena je između hlapljivih tvari i suhe tvari ($r= 0,69$; $p<0,05$), ugljika i ukupnih neflavonoida ($r= 0,69$; $p<0,05$) te između ugljika i klorofila B ($r= 0,67$; $p<0,05$).



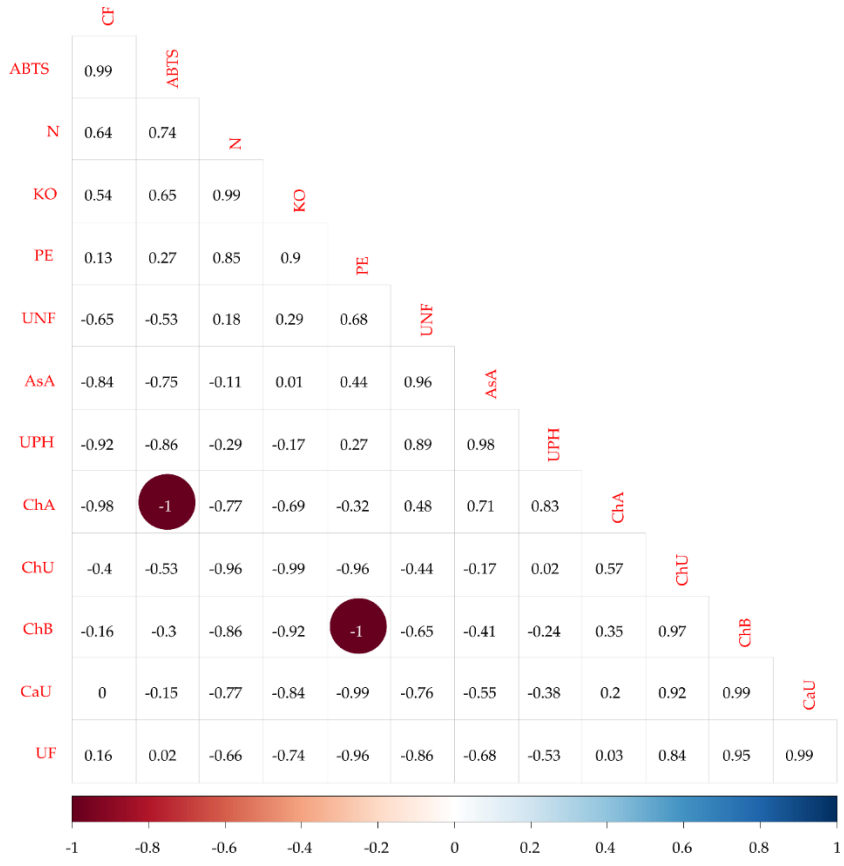
Slika 42. Korelacije parametara funkcionalne vrijednosti i gorivih tvari **drvenastih** invazivnih biljnih vrsta (n_d=3)



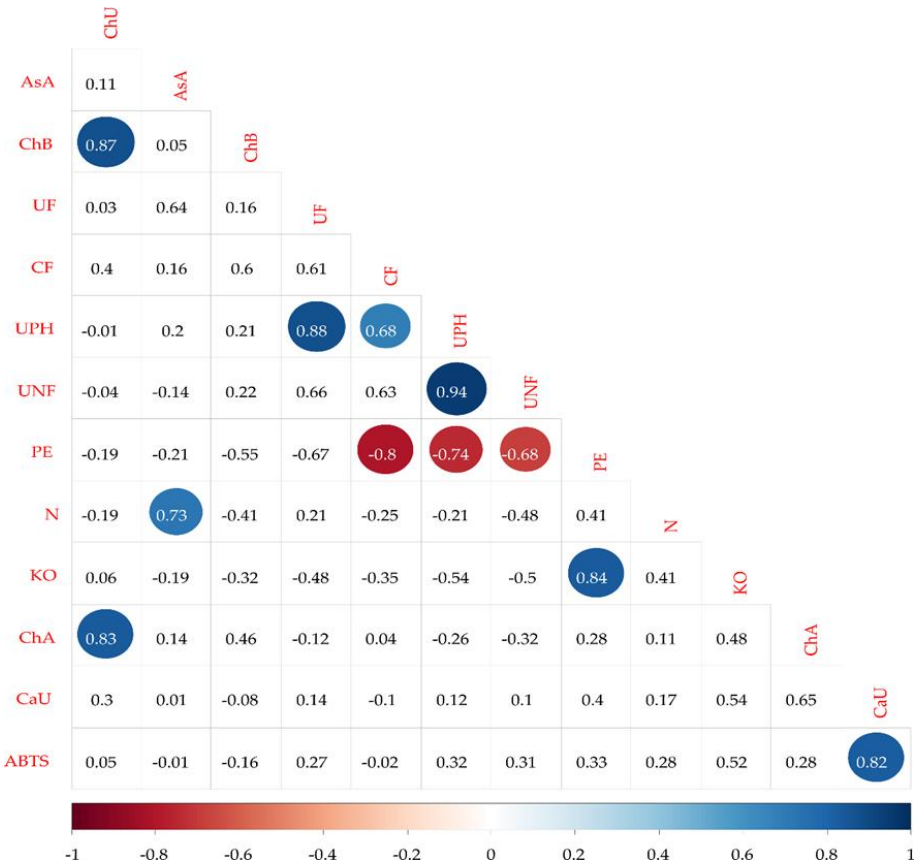
Slika 43. Korelacije funkcionalne vrijednosti i gorivih tvari **zeljastih** invazivnih biljnih vrsta (n_z=9)

5.4.2. Korelacije funkcionalne vrijednosti i negorivih tvari kod drvenastih i kod zeljastih invazivnih biljnih vrsta

Na slikama 44 i 45 prikazane su korelacije funkcionalne vrijednosti (askorbinska kiselina, ukupni flavonoidi, ukupni neflavonoidi, ukupni fenolni spojevi, klorofil A, klorofil B, ukupni klorofili, ukupni karotenoidi i antioksidacijski kapacitet) i negorivih tvari energetske vrijednosti (pepeo, koks, fiksirani ugljik, dušik) drvenastih i zeljastih invazivnih biljnih vrsta. Kod **drvenastih** invazivnih vrsta (Slika 44) uočena je potpuna negativna korelacija između klorofila A i antioksidacijskog kapaciteta ($r= -1,00$; $p< 0,05$) te između klorofila B i pepela ($r= -1,00$; $p< 0,05$), dok za ostale promatrane parametre funkcionalne i energetske vrijednosti invazivnih biljnih vrsta nije utvrđena statistička značajnost. Kod **zeljastih** invazivnih vrsta (Slika 45) snažna negativna korelacija utvrđena je između pepela i fiksiranog ugljika ($r= -0,80$; $p< 0,01$) te pepela i ukupnih fenolnih spojeva ($r= -0,74$; $p< 0,05$), dok je umjerena negativna korelacija utvrđena između pepela i ukupnih neflavonoida ($r= -0,68$, $p< 0,05$). Suprotno, pozitivne korelacije utvrđene su između slijedećih parametara kako slijedi: vrlo snažna pozitivna korelacija uočena je između ukupnih neflavonoida i ukupnih fenolnih spojeva ($r=0,94$; $p< 0,01$). Snažna pozitivna korelacija utvrđena je između klorofila B i ukupnih klorofila ($r=0,87$; $p< 0,01$), između ukupnih fenolnih spojeva i ukupnih flavonoida ($r=0,88$; $p< 0,01$), dušika i askorbinske kiseline ($r= 0,73$; $p< 0,05$), koksa i pepela ($r=0,84$; $p< 0,01$); klorofila A i ukupnih klorofila ($r=0,83$; $p< 0,01$), te između antioksidacijskog kapaciteta i ukupnih karotenoida ($r=0,82$; $p< 0,01$). Nadalje, umjerena pozitivna korelacija utvrđena je između ukupnih fenolnih spojeva i fiksiranog ugljika ($r= 0,68$; $p< 0,05$).



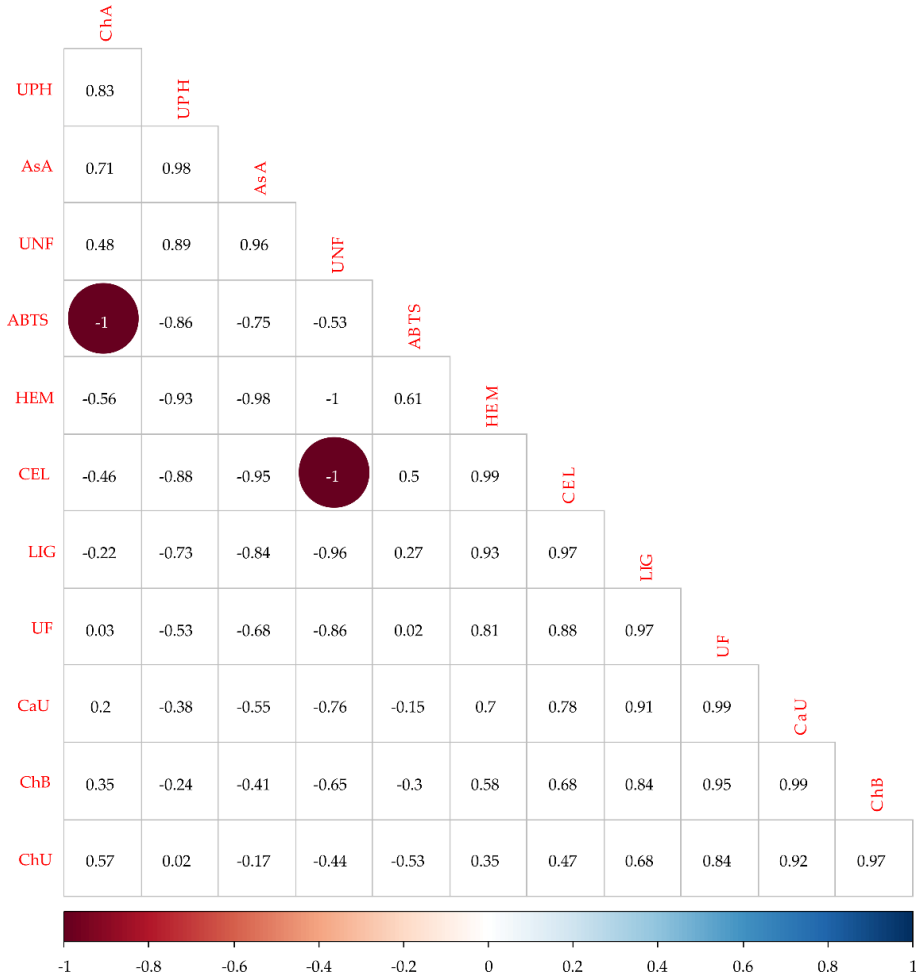
Slika 44. Korelacije funkcionalne vrijednosti i negorivih tvari **drvenastih** invazivnih biljnih vrsta (n_d=3)



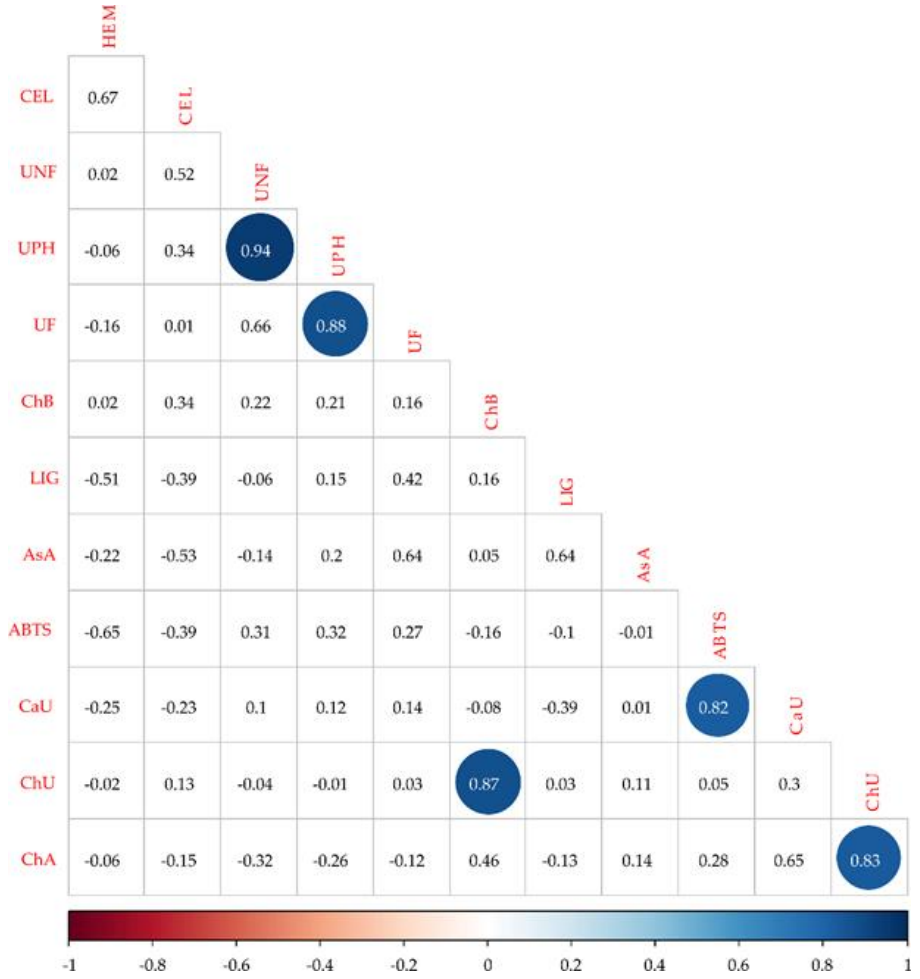
Slika 45. Korelacije funkcionalne i negorivih tvari **zeljastih** invazivnih biljnih vrsta (n_z=9)

5.4.3. Korelacije funkcionalne vrijednosti i lignoceluloznog sastava kod drvenastih i kod zeljastih invazivnih biljnih vrsta

Na slikama 46 i 47 prikazane su korelacije funkcionalne vrijednosti (askorbinska kiselina, ukupni flavonoidi, ukupni neflavonoidi, ukupni fenolni spojevi, klorofil A, klorofil B, ukupni klorofili, ukupni karotenoidi i antioksidacijski kapacitet) i lignoceluloznog sastava (celuloza, hemiceluloza, lignin) kod drvenastih i zeljastih invazivnih biljnih vrsta. Kod **drvenastih** invazivnih vrsta (Slika 46) utvrđena je potpuna negativna korelacija između antioksidacijskog kapaciteta i klorofila A ($r= -1,00$; $p< 0,05$) te između celuloze i ukupnih neflavonoida ($r= -1,00$; $p< 0,05$), dok za ostale promatrane parametre funkcionalne i energetske vrijednosti invazivnih biljnih vrsta nije utvrđena statistička značajnost. Kod **zeljastih** invazivnih biljnih vrsta (Slika 47), utvrđena je vrlo snažna pozitivna korelacija između ukupnih fenolnih spojeva i ukupnih neflavonoida ($r= 0,94$; $p< 0,01$). Nadalje, snažna pozitivna korelacija utvrđena je između ukupnih flavonoida i ukupnih fenolnih spojeva ($r= 0,88$; $p< 0,01$), ukupnih karotenoida i antioksidacijskog kapaciteta ($r= 0,82$; $p< 0,01$), ukupnih klorofila i klorofila B ($r= 0,87$; $p< 0,01$) te između ukupnih klorofila i klorofila A ($r= 0,83$; $p< 0,01$).



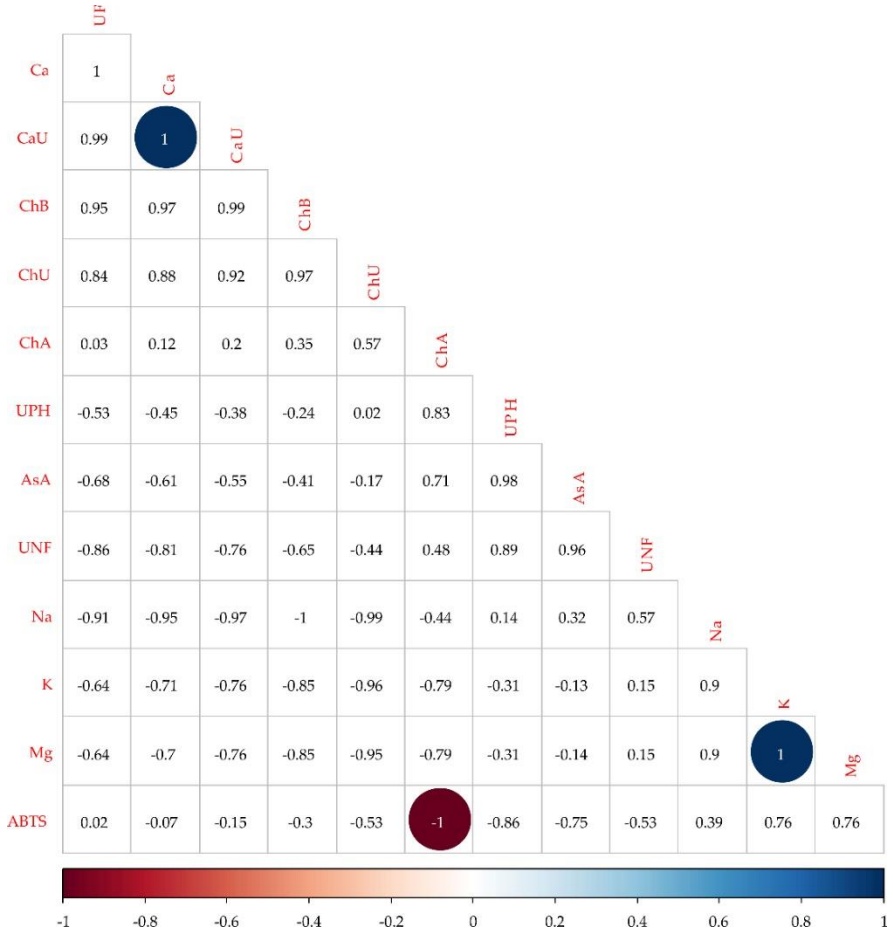
Slika 46. Korelacije funkcionalne vrijednosti i lignoceluloznog sastava **drvenastih** invazivnih biljnih vrsta (n_d=3)



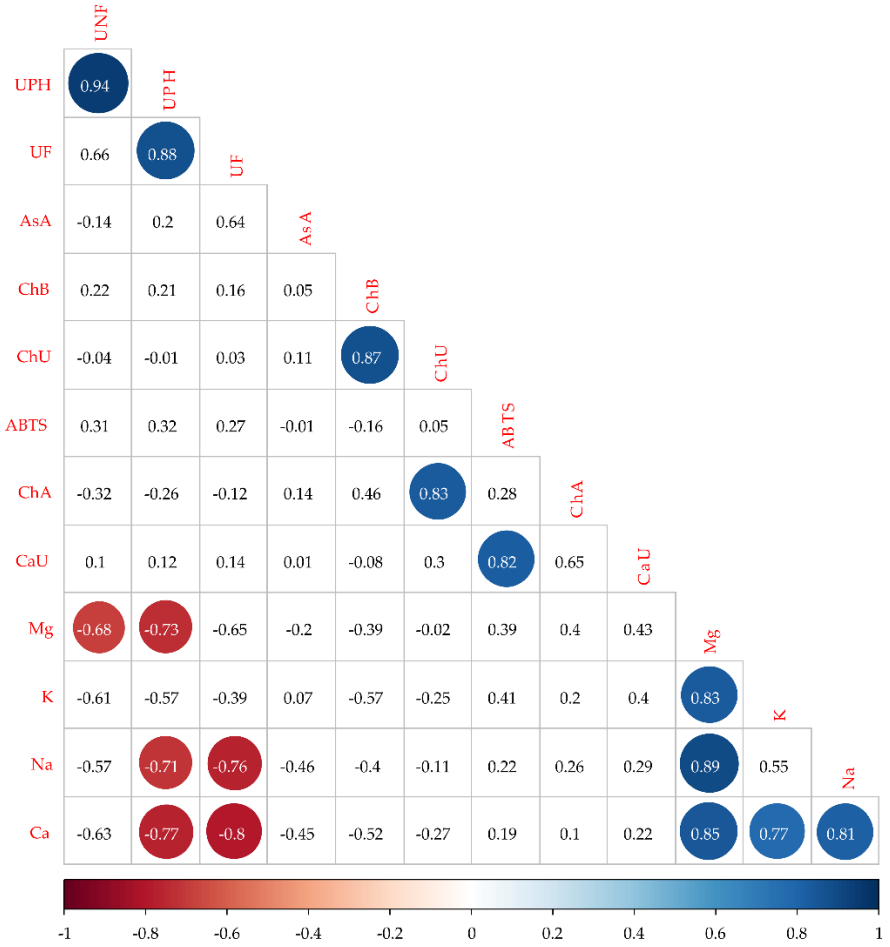
Slika 47. Korelacije funkcionalne vrijednosti i lignoceluloznog sastava **zeljastih** invazivnih biljnih vrsta (n_z=9)

5.4.4. Korelacije funkcionalne vrijednosti i makroelemenata kod drvenastih i kod zeljastih invazivnih biljnih vrsta

Na slikama 48 i 49 prikazane su korelacije funkcionalne vrijednosti (askorbinska kiselina, ukupni flavonoidi, ukupni neflavonoidi, ukupni fenolni spojevi, klorofil A, klorofil B, ukupni klorofili, ukupni karotenoidi i antioksidacijski kapacitet) i makroelemenata (Ca, K, Mg, Na) kod drvenastih i zeljastih invazivnih biljnih vrsta. Kod **drvenastih** invazivnih vrsta (Slika 48) utvrđena je potpuna negativna korelacija između antioksidacijskog kapaciteta i klorofila A ($r= -1,00$; $p< 0,05$). Suprotno tome, potpuna pozitivna korelacija utvrđena je između ukupnih klorofila i Ca ($r= 1,00$; $p< 0,05$) te između Mg i K ($r= 1,00$; $p< 0,01$), dok za ostale promatrane parametre funkcionalne i energetske vrijednosti drvenastih invazivnih biljnih vrsta nije utvrđena statistička značajnost. Kod **zeljastih** invazivnih biljnih vrsta (Slika 49), negativna korelacija utvrđena je između slijedećih parametara kako slijedi: snažna negativna korelacija utvrđena je između Mg i ukupnih fenolnih spojeva ($r= -0,73$; $p< 0,05$), Na i ukupnih fenolnih spojeva ($r= -0,71$; $p< 0,05$), Na i ukupnih flavonoida ($r= -0,76$; $p< 0,05$), Ca i ukupnih fenolnih spojeva ($r= -0,77$; $p< 0,05$) te između Ca i ukupnih flavonoida ($r= -0,80$; $p< 0,05$), dok je umjerena negativna korelacija uočena između Mg i ukupnih neflavonoida ($r= -0,68$; $p< 0,05$). S druge strane, vrlo snažna pozitivna korelacija utvrđena je između ukupnih fenolnih spojeva i ukupnih neflavonoida ($r= 0,94$; $p< 0,01$). Snažna pozitivna korelacija uočena je između ukupnih flavonoida i ukupnih fenolnih spojeva ($r= 0,88$; $p< 0,01$), ukupnih klorofila i klorofila B ($r= 0,87$; $p< 0,01$), klorofila A i ukupnih klorofila ($r= 0,83$; $p< 0,01$); ukupnih karotenoida i antioksidacijskog kapaciteta ($r= 0,82$; $p< 0,01$), K i Mg ($r= 0,83$; $p< 0,01$); Na i Mg ($r= 0,89$; $p< 0,01$), Ca i Mg ($r= 0,85$; $p< 0,01$), Ca i K ($r= 0,77$; $p< 0,05$), te između Ca i Na ($r= 0,81$; $p< 0,01$).



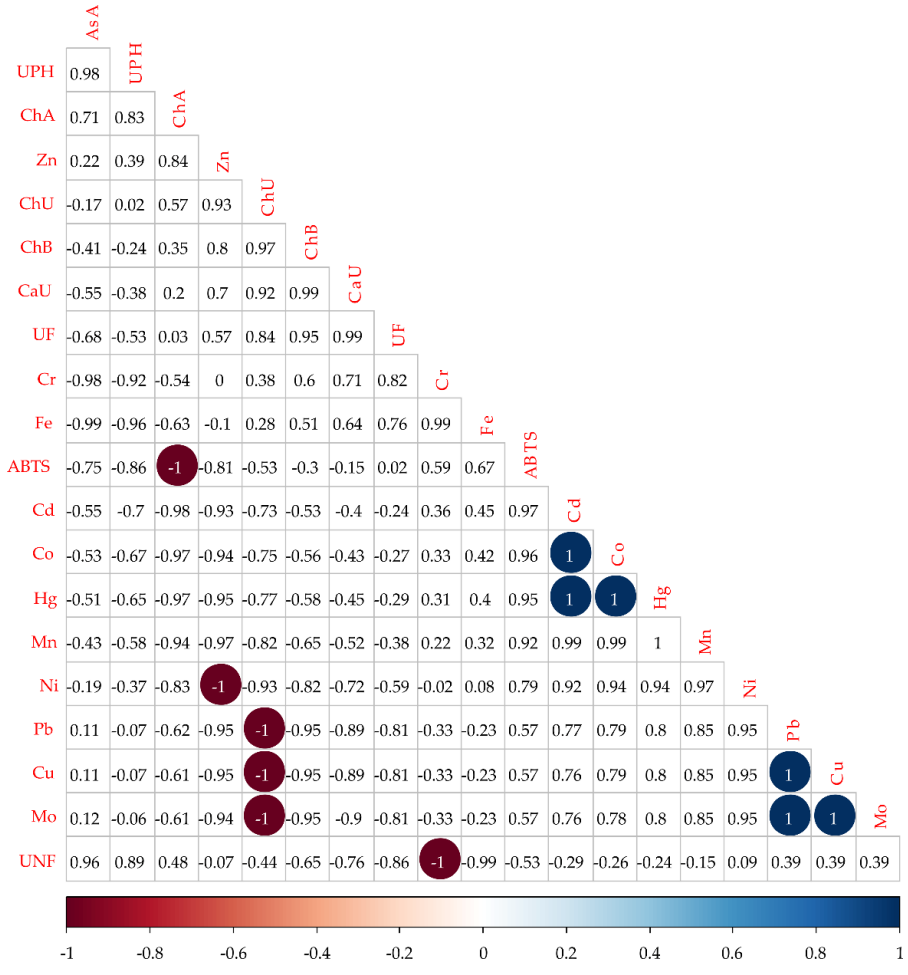
Slika 48 Korelacije funkcionalne vrijednosti i makroelemenata kod **drvenastih** invazivnih biljnih vrsta (n_d=3)



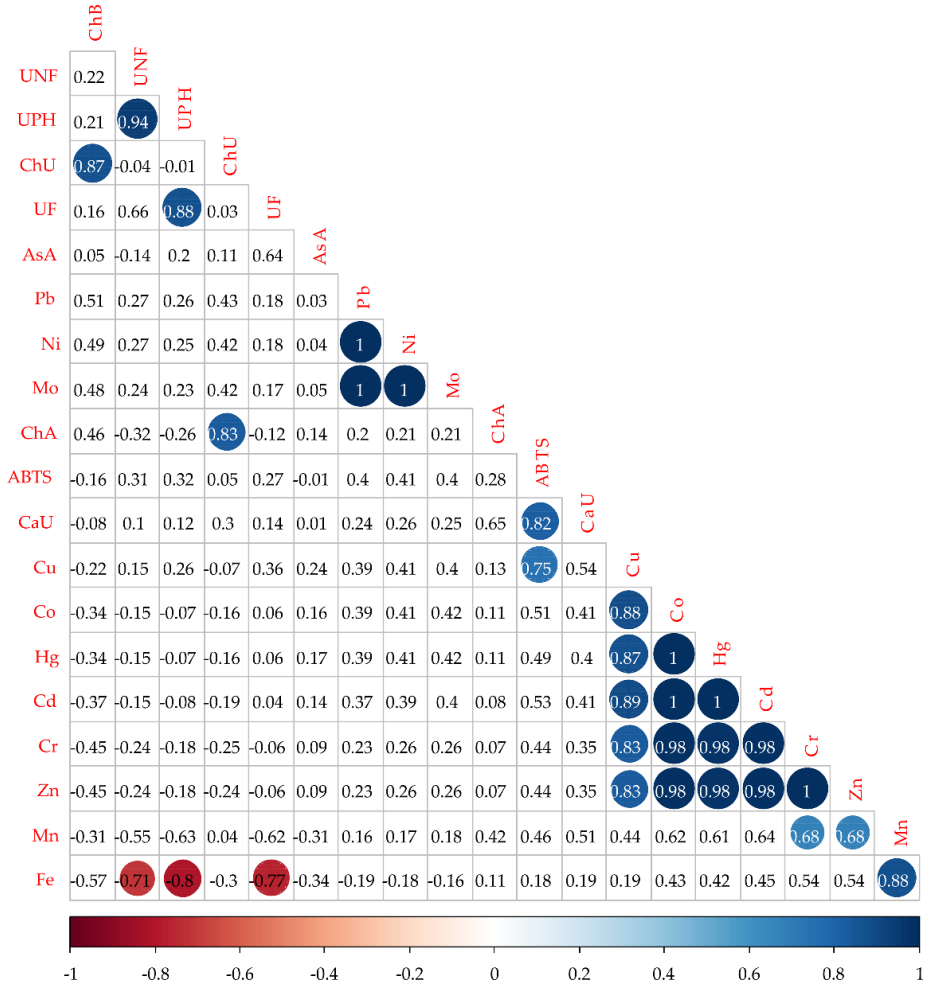
Slika 49. Korelacije funkcionalne vrijednosti i makroelemenata kod **zeljastih** invazivnih biljnih vrsta (n_z=9)

5.4.5. Korelacije funkcionalne vrijednosti sa mikroelementima i teškim metalima kod drvenastih i kod zeljastih invazivnih biljnih vrsta

Na slikama 50 i 51 prikazane su korelacije funkcionalne vrijednosti (askorbinska kiselina, ukupni flavonoidi, ukupni neflavonoidi, ukupni fenolni spojevi, klorofil A, klorofil B, ukupni klorofili, ukupni karotenoidi i antioksidacijski kapacitet) te mikroelemenata i teških metala (Fe, Zn, Cu, Mn, Mo, Pb, Cr, Ni, Cd, Co, Hg) kod drvenastih i zeljastih invazivnih biljnih vrsta. Kod **drvenastih** invazivnih vrsta (Slika 50) utvrđena je potpuna negativna korelacija između antioksidacijskog kapaciteta i klorofila A (r= -1,00; p< 0,05), Ni i Zn (r= -1,00; p< 0,05), Pb i ukupnih klorofila (r= -1,00; p< 0,05), Cu i ukupnih klorofila (r= -1,00; p< 0,05), Mo i ukupnih klorofila (r= -1,00; p< 0,05) te između ukupnih neflavonoida i Cr (r= -1,00; p< 0,05). Suprotno tome, potpuna pozitivna korelacija utvrđena je između slijedećih parametara: Co i Cd (r= 1,00; p< 0,05), Hg i Cd (r= 1,00; p< 0,05), Hg i Co (r= 1,00; p< 0,05), Cu i Pb (r= 1,00; p< 0,01), Mo i Pb (r= 1,00; p< 0,01) te između Mo i Cu (r= 1,00; p< 0,01). Kod **zeljastih** invazivnih biljnih vrsta (Slika 51), snažna negativna korelacija utvrđena je između Fe i ukupnih neflavonoida (r= -0,71; p<0.05), Fe i ukupnih fenolnih spojeva (r= -0,80; p<0.01) te zmeđu Fe i ukupnih flavonoida (r= -0,77; p<0.05). Suprotno, pozitivna korelacija utvrđena je između slijedećih parametara kako slijedi: potpuna pozitivna korelacija utvrđena je između Ni i Pb (r= 1,00; p<0.01), Mo i Pb(r= 1,00; p<0.01), Mo i Ni (r= 1,00; p<0.01), Hg i Co (r= 1,00; p<0.01), Cd i Co (r= 1,00; p<0.01), Cd i Hg (r= 1,00; p<0.01), te između Zn i Cr (r= 1,00; p<0.01. Vrlo snažna pozitivna korelacija utvrđena je između ukupnih fenolnih spojeva i ukupnih neflavonoida (r= 0,94; p<0.01), Cr i Co (r= 0,98; p<0.01), Cr i Hg (r= 0,98; p<0.01), Cr i Cd (r= 0,98; p<0.01), Zn i Co (r= 0,98; p<0.01), Zn i Hg (r= 0,98; p<0.01) te između Zn i Cd (r= 0,98; p<0.01). Snažna pozitivna korelacija utvrđena je između ukupnih klorofila i klorofila B (r= 0,87; p<0.01), ukupnih flavonoida i ukupnih fenolnih spojeva (r= 0,88; p<0.01), klorofila A i ukupnih klorofila (r= 0,83; p<0.01), ukupnih karotenoida i antioksidacijskog kapaciteta (0,82, p<0.01), Cu i antioksidacijskog kapaciteta (r= 0,75; p<0.05), Co i Cu (r= 0,88; p<0.01), Hg i Cu (r= 0,87; p<0.01), Cd i Cu (r= 0,89; p<0.01), Cr i Cu (r= 0,83; p<0.01), Zn i Cu (r= 0,83; p<0.01) te između Fe i Mn (r= 0,88; p<0.01). Umjerena pozitivna korelacija utvrđena je između Mn i Cr (r= 0,68; p<0.05) te između Mn i Zn (r= 0,68; p<0.05).



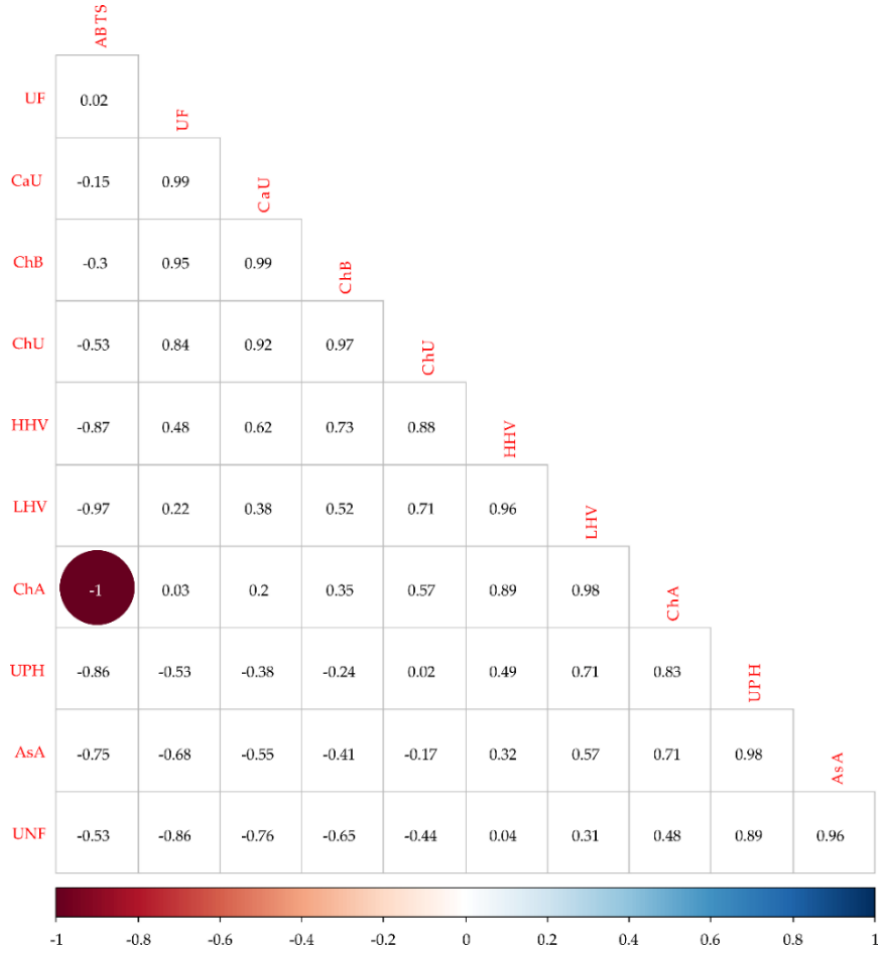
Slika 50. Korelacije funkcionalne vrijednosti sa mikroelementima i teškim metalima kod **drvenastih** invazivnih biljnih vrsta (n_d=3)



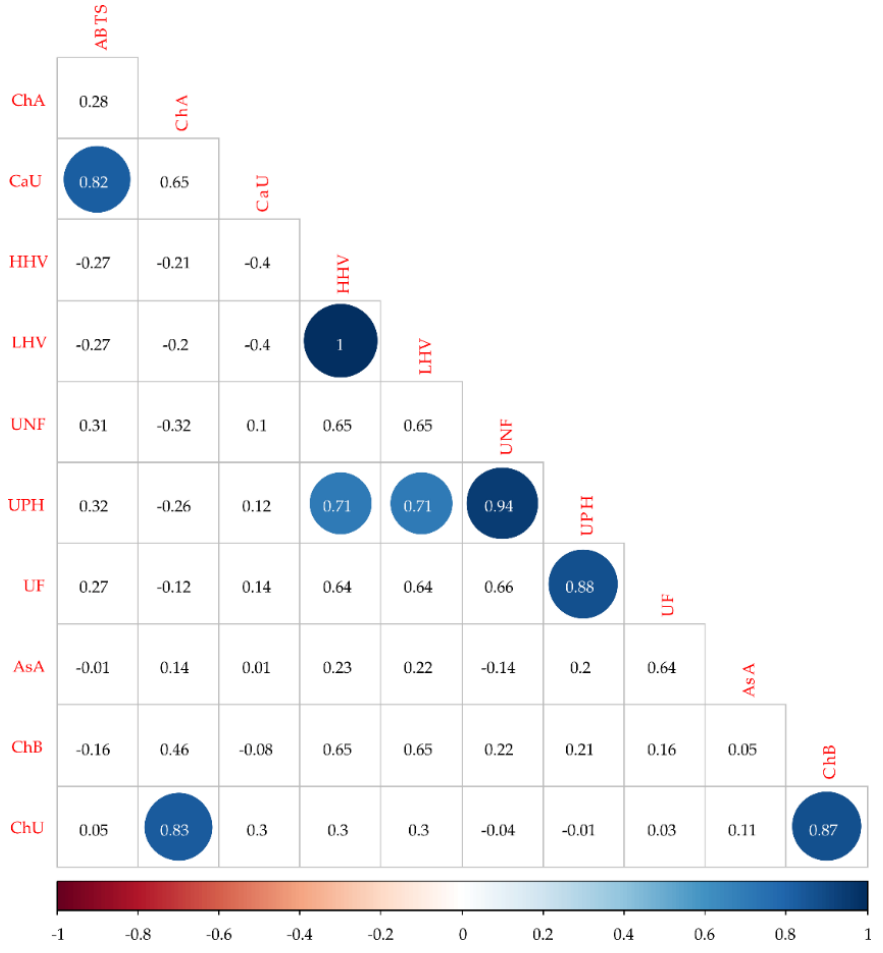
Slika 51. Korelacije funkcionalne vrijednosti sa mikroelementima i teškim metalima kod **zeljastih** invazivnih biljnih vrsta (n_z=9)

5.4.6. Korelacije funkcionalne vrijednosti i ogrjevnih vrijednosti kod drvenastih i kod zeljastih invazivnih biljnih vrsta

Na slikama 52 i 53 prikazane su korelacije funkcionalne vrijednosti (askorbinska kiselina, ukupni flavonoidi, ukupni neflavonoidi, ukupni fenolni spojevi, klorofil A, klorofil B, ukupni klorofili, ukupni karotenoidi i antioksidacijski kapacitet) te gornje i donje ogrjevne vrijednosti kod drvenastih i zeljastih invazivnih biljnih vrsta. Kod **drvenastih** invazivnih vrsta (Slika 52) utvrđena je potpuna negativna korelacija između klorofila A i antioksidacijskog kapaciteta ($r= -1,00$; $p<0.05$), dok za ostale promatrane parametre funkcionalne i energetske vrijednosti drvenastih invazivnih biljnih vrsta nije utvrđena statistička značajnost. Kod **zeljastih** invazivnih biljnih vrsta (Slika 53), utvrđene su samo pozitivne korelacije između slijedećih parametara kako slijedi: potpuna pozitivna korelacija utvrđena je između donje ogrjevne vrijednosti i gornje ogrjevne vrijednosti ($r= 1,00$; $p<0.01$). Vrlo snažna pozitivna korelacija utvrđena je između ukupnih fenolnih spojeva i ukupnih neflavonoida ($r= 0,94$; $p<0.01$). Snažna pozitivna korelacija utvrđena je između ukupnih karotenoida i antioksidacijskog kapaciteta ($r= 0,82$; $p<0.01$), ukupnih fenolnih spojeva i gornje ogrjevne vrijednosti ($r= 0,71$; $p<0.05$), ukupnih fenolnih spojeva i donje ogrjevne vrijednosti ($r= 0,71$; $p<0.05$), ukupnih fenolnih spojeva i ukupnih flavonoida ($r= 0,88$; $p<0.01$), ukupnih klorofila i klorofila A ($r= 0,83$; $p<0.01$) te između ukupnih klorofila i klorofila B ($r= 0,87$; $p<0.01$).



Slika 52. Korelacije funkcionalne vrijednosti i ogrjevnih vrijednosti **drvenastih** invazivnih biljnih vrsta (n_d=3)



Slika 53. Korelacije funkcionalne vrijednosti i ogrjevnih vrijednosti **zeljastih** invazivnih biljnih vrsta (n_z=9)

6. RASPRAVA

Strane invazivne biljne vrste rastu bez potrebe za specifičnim agrotehničkim mjerama uzgoja i kultivacije te se šire u velikim razmjerima zahvaljujući svojoj sposobnosti tolerancije na raznolike uvjete okoliša i visokim kompeticijskim svojstvima, već u tom segmentu moguće je prepoznati potencijal za daljnje iskorištavanje njihove biomase (Peter i sur., 2021). Iako su istraživanja koja se bave invazivnim biljnim vrstama od izuzetne važnosti, nisu česta ili su najčešće usmjerena na razumijevanje njihove biologije, utjecaja i načina suzbijanja (Roiloa i sur., 2020; Kumar Rai., 2022; Rawat i sur., 2024). Unatoč njihovoj štetnosti, invazivne biljne vrste mogu se iskoristiti kako bi se osigurala financijska sredstva za njihovu kontrolu i uklanjanje, a dok istovremeno adekvatno iskorištavanje invazivnih biljnih vrsta može pružiti ekonomski poticaj i pomoći u smanjenju njihovog negativnog utjecaja na okoliš ili omogućiti izvor sredstva za daljnju kontrolu (Barokini i Babalola, 2012; Haubrock i sur., 2021). Također, pravilno iskorištavanje biomase invazivnih biljnih vrsta može neposredno umanjiti troškove njihova uklanjanja te doprinijeti razvoju novih proizvoda dodane vrijednosti što je razlog zbog kojeg je potrebno dodatno istražiti mogućnosti daljnje primjene njihove biomase kroz funkcionalnu (izvor fitonutrijenata) i / ili energetsku vrijednost (proizvodnja energije, biogoriva).

Rezultati provedenih istraživanja prikazuju podatke o distribuciji i karakteristikama dvanaest istraženih invazivnih biljnih vrsta, inventarizaciji provedenoj na području Parka prirode Žumberak-Samoborsko gorje, dok analize funkcionalne i energetske vrijednosti njihove biomase predstavljaju ključan indikator pri procjeni mogućnosti daljnje primjene u funkcionalne ili energetske svrhe u skladu s ciljevima i hipotezama ovog istraživanja.

6.1. Inventarizacija

Rezultati ovog istraživanja ukazuju na značajnu varijabilnost u distribuciji i količini biljnih vrsta na proširenom području istraživanja. Inventarizacija i determinacija svih biljnih vrsta na 24 mikrolokacije proširenog područja istraživanja, rezultirala je popisom od ukupno 194 biljne vrste (Prilog II, Tablica 1). Od ukupnog broja vrsta njih dvanaest bilo je invazivno ili potencijalno invazivno, a da je pritom bilo moguće sa jednog područja prikupljanja (mikrolokacija) osigurati najmanje 2 kg svježe biomase po uzorku pojedine vrste. Spomenute invazivne biljne vrste pritom su podijeljene na drvenaste i zeljaste prema građi njihove stabljike, te u skupinu drvenastih vrsta pripadaju samo njih tri: *Ailanthus altissima* (Ail), *Rhus typhina* (Rhu) i *Robinia pseudoacacia* (Rob), dok u skupinu zeljastih vrsta pripada njih devet: *Abutilon theophrasti* (Abu), *Amaranthus retroflexus* (Ama), *Ambrosia artemisiifolia* (Amb), *Datura stramonium* (Dat), *Erigeron annuus* (Eri), *Galinsoga ciliata* (Gal), *Reynoutria japonica*

(Rey), *Solidago gigantea* (Sol) i *Sorghum halepense* (Sor). Sama distribucija drvenastih i zeljastih invazivnih biljnih vrsta pokazuje mogući utjecaj specifičnih ekoloških (stanište, zaraštavanje, klima, tlo, voda, hranjiva, svijetlost), bioloških (karakteristike vrsta, rast i reprodukcija, adaptabilnost, interakcija s drugim organizmima) i ljudskih (unos vrsta, fragmentacija staništa) faktora (Silvertown i sur., 1993; Gioria i sur., 2019; Cui i sur., 2021). Naime, ovako velika razlika u broju drvenastih i zeljastih invazivnih biljnih vrsta, može se objasniti na način da drvenaste biljne vrste trebaju više vremena za rast i više resursa, zeljaste vrste često imaju kraći životni ciklus te mogu brže reagirati na promjene u okolišu, a uz to imaju i raznolike strategije preživljavanja koje im omogućavaju brzo širenje i kolonizaciju novih staništa (Compagnoni i sur., 2021; Spicer i sur., 2022).

Pojedini uzorak za svaku invazivnu biljnu vrstu uključenu u ovo istraživanje, prikupljan je ciljano na lokacijama gdje pojedina vrsta tvori guste sklopove te su neki uzorci sakupljeni na jednom području unutar jedne mikrolokacije. Određene prikupljene vrste prepoznate su kao vrste koje preferiraju određeni tip staništa, stoga je u nekim slučajevima bilo moguće prikupiti nekoliko različitih vrsta na istoj lokaciji, odnosno određene vrste na određenom tipu staništa. Primjerice, Rey je jedina vrsta koja preferira izrazito vlažna ili močvarna staništa te su sva tri uzorka spomenute vrste sakupljena na tri zasebne lokacije na vlažnim staništima blizu izvora vode. Za razliku od Abu, Ama i Gal ili Abu, Dat i Sor čiji su uzorci prikupljeni na istim mikrolokacijama, što je u skladu s očekivanjima s obzirom da sve spomenute vrste preferiraju antropogena i ruderalna staništa, a izrazito često ih se može naći u svojstvu korova na poljoprivrednim površinama. Na 15 mikrolokacija proširenog područja istraživanja prikupljena je samo jedna vrsta (Ail, Amb, Eri, Gal, Rey, Rhu, Rob, Sol i Sor), na 6 mikrolokacija prikupljene su po dvije vrste (Abu i Sor, Ail i Eri, Dat i Eri, Dat i Sor, Eri i Rhu te Gal i Sol), dok su na tri mikrolokacije prikupljena tri uzorka različitih invazivnih biljnih vrsta (Abu, Ama i Gal; Abu, Dat i Sor; Amb, Eri i Sol). Važno je napomenuti da su spomenute različite mikrolokacije unutar istog parka prirode s proširenim područjem istraživanja, što ukazuje na njihovu značajnu raširenost te potrebu za aktivnim upravljanjem invazivnim vrstama kako bi se očuvao ekosustav i bioraznolikost zaštićenog područja. S obzirom na to da se svi prikupljeni uzorci mogu svrstati u kategoriju invazivnih (Nikolić i sur., 2014) ili potencijalno invazivnih biljnih vrsta (Kutnar i sur., 2019), može se zaključiti da je riječ o pretežito antropogenim i ruderalnim staništima parka prirode podložnim daljnjem širenju spomenutih invazivnih biljnih vrsta

Rezultati pokazuju da su invazivne biljne vrste u ovom istraživanju raznolike po životnim oblicima, trajanju života i flornim elementima. Dominacija hemikriptofita u skladu je s kontinentalnom srednjeeuropskom geografskom pozicijom Hrvatske, a izrazitiji udio terofita ukazuje na antropogeni utjecaj. Ovakvi rezultati zabilježeni su već ranijim istraživanjem koje

je provedeno na korovnoj flori Plešivičkog prigorja (Dujmović Purgar., 2006). Većina vrsta (Abu, Ama, Amb, Dat i Gal) su jednogodišnje biljke (Therophyta), što ukazuje na njihovu sposobnost preživljavljavanja nepovoljnih uvjeta u obliku sjemena, što im omogućuje brzu regeneraciju i širenje. Hemikryptophyta (Eri i Sol) i Geophyta (Rey i Sor), s druge strane, preživljavaju nepovoljne uvjete kao trajnice s podzemnim organima ili pupovima u razini tla. Hemikryptophyta koriste svoje pupove na razini tla za brzu regeneraciju i otpornost na nepovoljne uvjete, dok Geophyta koriste svoje podzemne organe za pohranu hranjiva i vegetativno razmnožavanje, omogućujući im laku prilagodbu te otpornost na raznolikost okolišnih faktora ili nepovoljnih životnih uvjeta. Ovo im daje prednost i u stabilnijim ekosustavima, gdje mogu brzo zauzeti prostor jer puno lakše od ostalih vrsta posebice nativnih dolaze do hranjiva i vode. Upravo iz tog razloga često dominiraju nad ostalim vrstama zbog svoje iznimne konkurentnosti i kompetitivnosti. Vrlo lako se adaptiraju na različite okolišne uvjete (različita tla, klimatski uvjeti, ugrožavajuće situacije) i promjene u okolišu te često preuzimaju resurse poput hrane, vode, svjetlosti i prostora na štetu autohtonih vrsta (Zedler i Kercher, 2004).

Invazivne vrste često posjeduju mehanizme poput alelopatije, koji im omogućuju otpornost na konkurenciju i sprječavaju rast drugih vrsta u njihovoj blizini. Značajan faktor koji doprinosi njihovoj uspješnosti je i činjenica da često nemaju prirodne neprijatelje na novim područjima gdje su unešene ili su se same proširile. Odsutnost prirodnih neprijatelja omogućuje im da se neometano razmnožavaju i šire. Njihova brza reprodukcija i velika brojnost omogućuju im stvaranje gustih populacija koje dominiraju u okolišu te mogu izazvati niz problema. Invazivne vrste mogu ugroziti prirodne ekosustave, smanjiti plodnost tla, utjecati na dostupnost vode te izazvati gubitak biološke raznolikosti, potiskivanjem autohtone biljne flore i faune na infestiranom području (Pallardy, 2010; Compagnoni i sur., 2021).

Florni elementi pokazuju da je većina invazivnih biljnih vrsta uključenih u ovo istraživanje porijeklom iz Amerike i Azije, što potvrđuje trend globalizacije i uvođenja stranih vrsta u različite ekosustave. Ove vrste su često bile unesene na područje Europe kao hortikulturne i ukrasne biljne vrste ili su nenamjerno donesene sa sjemenom drugih biljaka (Nentwig., 2007). Na primjer, Amb je dospjela u Europu kroz kontaminirano sjeme drugih poljoprivrednih kultura. Invazivne vrste su također često unešene na područje Europe za sprječavanje odrona ili erozije tla (Vítková i sur., 2017; Rédei i sur., 2008; Zhang i Yan, 2016). Na njihovom nativnom području pokazale su se izrazito efikasne u tim ulogama. Međutim, s vremenom je uočen njihov invazivan karakter u europskim ekosustavima. Na primjer, biljke poput Ail ili Rey su se proširile izvan kontroliranih područja i počele ugrožavati lokalnu floru i faunu. Invazivne vrste često uspijevaju u novim ekosustavima zbog nedostatka prirodnih predatora i konkurenata, što im omogućuje brzu kolonizaciju i širenje. Njihova sposobnost

prilagodbe i preživljavanja u različitim uvjetima dodatno doprinosi njihovom invazivnom potencijalu (Siddiqui i sur., 2021; Vilà i Weiner, 2004). Na primjer, vrste poput Amb i Ama brzo se šire na ruderalnim staništima, poljoprivrednim površinama i urbanim područjima, gdje njihova prisutnost može izazvati ekonomske i zdravstvene probleme. S druge strane, drvenaste trajnice poput Rob i Ail koriste se u hortikulturi i za zaštitu tla, ali se brzo šire izvan kontroliranih područja, formirajući guste sklopove koji istiskuju autohtone vrste (Kang i sur., 2020; Simcox, 2022).

Prisutnost ovih invazivnih vrsta može imati značajan utjecaj na lokalne ekosustave, dok učinci uključuju uz smanjenje bioraznolikosti i promjene u strukturi vegetacije i poremećaje u ekološkim procesima.

6.2. Funkcionalna vrijednost invazivnih biljnih vrsta

Invazivne biljne vrste potencijalne funkcionalne vrijednosti očituju se prvenstveno visokim sadržajem nutrijenata, odnosno specifičnih fitokemikalija značajnog biološko aktivnog djelovanja i visokog antioksidacijskog potencijala (Huang i Chen 2022; Díaz-Torres i sur., 2021). Stoga je ovo istraživanje osim na energetsku vrijednost invazivnih biljnih vrsta, fokusirano i na procjenu funkcionalne vrijednosti spomenutih vrsta.

6.2.1. Sadržaj suhe tvari lista istraživanih invazivnih biljnih vrsta

Prilikom procjene funkcionalne i nutritivne vrijednosti biljnog materijala sadržaj suhe tvari inicijalni je parametar (Samtiya i sur., 2021; Vélez-Terranova i sur., 2022). Pretpostavka je da se povećanjem sadržaja suhe tvari u biljnom materijalu, također povećava i relativna koncentracija hranjivih tvari i korisnih fitokemikalija, a razlog tome je taj da suhu tvar čine sve komponente osim vode, odnosno kemijski spojevi uključujući strukturne komponente, makronutrijente, sekundarne metabolite i druge hranjive tvari. Najviši sadržaj suhe tvari lista analiziranih invazivnih biljnih vrsta utvrđen je za vrstu Rhu koja je u prosjeku imala oko 60 % viši sadržaj suhe tvari lista u odnosu na ostale promatrane invazivne biljne vrste. Sadržaj suhe tvari lista u biljnom materijalu izravno je povezan s fotosintetskom aktivnosti, a koja je glavni metabolizam proizvodnje makronutrijenata poput ugljikohidrata, organskih spojeva i ostalih komponenata suhe tvari, nužnih za normalan rast i razvoj biljnog organizma. Osim fotosinteze i ostali fiziološki procesi poput respiracije i transpiracije mogu utjecati na sadržaj suhe tvari. Prilikom procesa respiracije smanjuje se sadržaj suhe tvari biljnog materijala uslijed razgradnje organskih molekula u svrhu proizvodnje ATP-a, odnosno energije, dok je

transpiracija glavni biljni mehanizam regulacije vodnog statusa biljke te primarno utječe na proces fotosinteze koji posljedično rezultira povećanjem sadržaja suhe tvari biljnog materijala (Shahid i sur., 2023). Spomenuti fiziološki procesi biljaka pod značajnim su utjecajem različitih čimbenika, posebice pedoklimatskih, primarno temperature, uvjeta tla, dostupnosti svjetlosti, nutrijenata, vode i dr. (Qaderi i sur., 2019). Stoga je jasno kako razlike u suhe tvari lista između istraživanih invazivnih biljnih vrsta mogu biti uzrokovane prvenstveno vremenskim uvjetima, odnosno ekološkim čimbenicima nekog staništa s obzirom na to da sadržaj suhe tvari može značajno varirati čak i kod iste vrste ovisno o temperaturi, relativnoj vlagi zraka i količini padalina kao dominantnim čimbenicima (Szulc i sur., 2017). Također, sadržaj suhe tvari ovisi i o genetskim osobinama biljke, njihovoj sposobnosti zadržavanja vlage i prilagodbe različitim uvjetima tla i okoliša općenito. Temeljem navedenih uvjeta staništa i prilagodba njima, razlikuju se i različite ekološke skupine biljaka poput kserofita, mezofita, hidrofita, higrofita itd., (Nantongo i sur., 2018; Khare i sur., 2020; Khussainov i sur., 2024). Svaka od ovih kategorija uključuje specifične prilagodbe koje biljakama omogućuju preživljavanje i rast u njihovim karakterističnim staništima, a mogu uključivati morfološke promjene, fiziološke mehanizme, kao i biokemijske procese. Mezofiti su prilagođeni uvjetima umjerene klime i okolišnih uvjeta staništa u smislu temperature, svjetlosti, vlage zraka i dr. (Alsaeedi i sur., 2022). Međutim, čak i unutar klasifikacije mezofita, u koju pripadaju sve vrste iz ovog istraživanja, mogu postojati varijacije u prilagodbama ovisno o specifičnim uvjetima staništa. Na primjer, mezofiti koji rastu u sušnim područjima ili se mogu vrlo brzo i lako prilagoditi takvim uvjetima staništa, slični su kserofitima. Kserofiti uglavnom rastu na otvorenim livadama i ruderalnim površinama te su prilagođeni sušnim uvjetima, a obilježavaju ih listovi često s debelom kutikulom i smanjenom površinom, a kako bi se smanjio gubitak vode (Pan i sur., 2024). U navedenu kategoriju mezofita s karakteristikama kserofita, pripadaju vrste: Ail, Rhu, Rob i Sol iz ovog istraživanja, a kod kojih je utvrđen čak 30 % viši sadržaj suhe tvari lista od prosjeka svih vrsta. Naime, iako su spomenute vrste mezofiti, razlog višeg sadržaja suhe tvari lista u odnosu na ostale mezofite može biti njihova mogućnost lake prilagodbe i drugim tipovima staništa, posebice onim manje dostupnosti vode. Suprotno, higrofiti i hidrofiti su prilagođeni vodenim staništima, odnosno onim s većom količinom dostupne vode poput močvarnih područja (higrofiti) ili pak vodenih staništa (hidrofiti). No, mezofiti koji rastu u vlažnijim okruženjima mogu također pokazivati karakteristike slične higrofitima ili hidrofitima, poput dobro razvijenog korijenskog sustava i sposobnosti podnošenja izrazito vlažnih staništa. Neke od takvih vrsta iz ovog istraživanja su vrste Gal (pokazatelj vlažnih tla) i vrsta Rey (obitava uz vodene tokove ili na močvarnim područjima) (Yang i sur., 2024) pa se kod ovih vrsta i očekivao niži sadržaj suhe tvari lista, a što je potvrđeno i rezultatima ovog istraživanja s obzirom na to kako je u spomenutim vrstama utvrđen čak oko 60 % niži sadržaj suhe tvari lista od prosjeka ostalih vrsta. Ostale vrste ovog

istraživanja: Abu, Ama, Amb, Dat, Eri i Sor također pripadaju u skupinu mezofita, a najčešće se nalaze u šumskim ekosustavima. To su biljke koje rastu u uvjetima umjerene vlažnosti, gdje su dostupnost vode i temperatura umjereni te takve biljke imaju dobro razvijen korijenski sustav, listove srednje veličine i debljine, dok su stomate raspoređene na donjoj strani listova (Pozdnyakova i sur., 2023) te se u skladu s navedenim, sadržaj suhe tvari lista kod navedenih vrsta kretao oko prosječnih vrijednosti (25,13 %). Još jedan od čimbenika utjecaja na sadržaj suhe tvari lista je i sama građa stabljike invazivnih vrsta iz ovog istraživanja, prilikom čega je analiziran sadržaj suhe tvari lista u vrstama drvenaste građe (Ail, Rhu, Rob*)* bio čak za 48 % viši u odnosu na vrste zeljaste građe stabljike (Abu, Ama, Amb, Dat, Eri, Gal, Rey, Sol, Sor).

6.2.2. Fitonutrijenti i antioksidacijski kapacitet invazivnih biljnih vrsta

Interakcije biljaka s drugim organizmima u okolini vrlo su kompleksne (Peter i sur., 2021), a uključuju niz metaboličkih procesa koje im omogućuju preživljavanje, ali i adekvatan rast i razvoj. Biljni sekundarni metaboliti u spomenutim okolnostima imaju ključnu funkciju, a mogu poslužiti kao prekursori za primarne metabolite ili imati regulatorne funkcije (Erb i Kliebenstein, 2020). Osim navedenih, sekundarni metabolizam uključujući i ostale ključne funkcije i to samoobranu (zaštitni mehanizmi biljaka), seksualnu privlačnost, simbiozu, alelopatiju, brzi rast i širenje i dr. (Luís i sur., 2012). Takve funkcije značajne su za preživljavanje i prilagodbe invazivnih biljnih vrsta u smislu nadvladavanja promjena uvjeta staništa i stresnih uvjeta kojima mogu biti izložene. Kao potpora procesu invazije, veća prevalencija ovih kompeticijskih svojstava omogućuje invazivnim biljnim vrstama da prežive fazu kolonizacije i prošire se u širokom rasponu okruženja (Meela i sur., 2019; Pintó-Marijuan i sur., 2013). Upravo zbog navedenog takve biljne vrste imaju tendenciju akumulacije spojeva primarnog i sekundarnog metabolizma, odnosno niza fitonutrijenata (fitokemikalija, specijaliziranih metabolita) značajnog bioaktivnog djelovanja, a od kojih valja istaknuti askorbinsku kiselinu, polifenolne spojeve, fotosintetske pigmente i ostale spojeve visokog antioksidacijskog potencijala.

Sadržaj askorbinske kiseline u različitim biljnim vrstama može varirati ovisno o abiotskim i biotskim čimbenicima, sposobnosti biljaka da se prilagode tim uvjetima, te genetskim karakteristikama pojedine vrste. Velike varijacije u sadržaju askorbinske kiseline utvrđene u invazivnim vrstama iz ovog istraživanja, s vrijednostima od 16,01 mg/100 g sv.t. do 159,69 mg/100 g sv.t., potvrđuju iznimnu raznolikost istraživanih vrsta. Vrste Rhu, Rey i Sor, iz ovog istraživanja, izdvojile su se sa višim sadržajem askorbinske kiseline od ostalih analiziranih vrsta, dok je najviši sadržaj askorbinske kiseline, čak oko pet puta viši od prosjeka svih ostalih vrsta utvrđen za vrstu Rhu. Invazivne biljne vrste iz ovog istraživanja posjeduju

jedinstvene prilagodbe kako bi uspjele opstati i nadvladati nativne vrste u okruženju u kojem se nalaze. Neke od tih prilagodba uključuju mehanizme obrane i brzog odgovora na stres, brzi rast, visoku stopu fotosinteze te učinkovito korištenje dostupnih resursa. Osim navedenih, stresni uvjeti, poput suše, izrazito visokih ili niskih temperatura, patogena, izloženosti svjetlu i dr. (Isah, 2019), mogu imati značajan utjecaj na sintezu askorbinske kiseline, a što sve mogu biti mogući razlozi spomenute devijacije rezultata sadržaja askorbinske kiseline ovisno o vrstama iz ovog istraživanja. Nadalje, jedan od ključnih mehanizama proizvodnje askorbinske kiseline u biljnim tkivima je proces fotosinteze, a s obzirom na to kako je upravo glavni prekursor njezine sinteze upravo glukoza, odnosno izravan produkt primarnog metabolizma biljaka. U uvjetima više stope fotosinteze može se posljedično očekivati i viši sadržaj askorbinske kiseline u biljnim tkivima (Barata-Soares i sur., 2004), posebice onim bogatijim fotosintetskim pigmentima (klorofilima) kao što je to list. Tako je kod zeljaste invazivne biljne vrste Rey iz ovog istraživanja, koju karakterizira iznimno velika lisna površina, sadržaj askorbinske kiseline čak oko 72 % viši od prosjeka ostalih zeljastih vrsta ovog istraživanja. Također, kod zeljastih vrsta iz ovog istraživanja uočena je pozitivna korelacija između sadržaja askorbinske kiseline i dušika, a što je posebno evidentno kod vrste Rey, a kod koje je utvrđen najviši sadržaj dušika te vrlo visoka vrijednost askorbinske kiseline. Iako je opće poznato da dušik kao makroelement doprinosi rastu i razvoju biljaka, utvrđen je i njegov značajan utjecaj na sintezu i akumulaciju pojedinih bioaktivnih spojeva biljnog organizma pa tako i askorbinske kiseline. Naime, dušik utječe na dostupnost prekursora (glukoze) i energije potrebne za biosintezu askorbinske kiseline, a prilikom čega je ključan mehanizam pozitivnog utjecaja dušika na proces fotosinteze (Zhang i sur., 2016; Wu i sur., 2024). Isto tako, važno je naglasiti kako i neki specifični uvjeti staništa značajno utječu na sadržaj askorbinske kiseline, a neposredno i na stopu fotosinteze. Tako na primjer drvenaste invazivne vrste, posebice one s gušćom krošnjom, mogu imati ograničenu izloženost svjetlosti, dok su pak zeljaste vrste na ruderalnim staništima češće izloženije ravnomjernijom osvjetljenju, što može posljedično rezultirati višom stopom fotosinteze. Također, ključno je naglasiti kako je upravo list primarna struktura biljke u kojoj se provodi fotosinteza pa sve navedeno navodi na zaključak kako upravo biljne vrste koje rastu u okolnostima veće izloženosti svjetlosti (npr. Sor iz ovog istraživanja) ili imaju veću lisnu masu, kao što je primjerice vrsta Rey, imaju predispozicije za povećanu stopu fotosinteze, a time posljedično i većeg sadržaja askorbinske kiseline. Nadalje, premisa ovog istraživanja bila je kako će prosječno invazivne vrste zeljaste građe stabljike imati i viši sadržaj askorbinske kiseline u odnosu na drvenaste, no to se rezultatima ovog istraživanja nije potvrdilo. Naime, većina invazivnih vrsta iz ovog istraživanja, uključujući i drvenaste i zeljaste, uopće se ne razlikuje po sadržaju askorbinske kiseline uz izuzetak vrste Rhu (drvenaste građe stabljike) s najvišim utvrđenim sadržajem askorbinske kiseline te vrsta

Rey i Sor (zeljaste građe stabljike), no značajno nižeg sadržaja askorbinske kiseline u odnosu na Rhu. Upravo navedeni rezultati sugeriraju kako i drugi čimbenici, osim građe biljnog tkiva, imaju značajan utjecaj na biosintezu askorbinske kiseline, a posebice ekološki faktori nekog staništa, genetske karakteristike i dr. (Sarker i Oba, 2018). Temeljem dobivenih rezultata, može se zaključiti da su analizirane invazivne vrste vrijedan izvor askorbinske kiseline, a prilikom čega valja posebno istaknuti vrstu Rhu od drvenastih i vrste Rey i Sor od zeljastih invazivnih biljnih vrsta, koje bi temeljem dobivenih rezultata trebalo razmotriti kao vrijedan izvor ovog spoja potencijalne mogućnosti upotrebe u farmaciji, proizvodnji lijekova kao i kozmetičkoj industriji koje stalno traže nove izvore spojeva funkcionalne vrijednosti.

6.2.3. Sadržaj polifenolnih spojeva istraživanih invazivnih biljnih vrsta

Fitonutrijenti poput polifenola izrazito su rasprostranjeni u čitavom biljnom carstvu i posjeduju vrlo širok raspon bioloških aktivnosti, uključujući antioksidativna svojstva i mnoge pozitivne učinke na zdravlje (Belščak-Cvitanović i sur., 2018; Ghani, 2020). Osim sadržaja ukupnih fenolnih spojeva, u ovom su istraživanju provedene i analize ukupnih neflavonoida i ukupnih flavonoida drvenastih i zeljastih invazivnih biljnih vrsta. Fenolni spojeva imaju širok raspon fizioloških uloga u biljkama, uključujući rast, prilagodbu na promjene i stres pa te opstanak vrsta (Cheynier i sur., 2013). Polifenolni spojevi široko su rasprostranjeni u čitavom biljnom carstvu, a specifični su i po brojnim biološkim aktivnostima, posebice visokim antioksidacijskim potencijalom, a zbog čega posjeduju značajne funkcionalne vrijednosti te ispoljavaju razne pozitivne učinke na zdravlje ljudi (Belščak-Cvitanović i sur., 2018; Ghani, 2020). Biosinteza polifenolnih spojeva ovisi o brojim čimbenicima, a posebice abiotskim (svjetlost, temperatura, biljni stres) i biotskim (napad patogena, predatora i dr.), kao i genetskim osobinama pojedine biljne vrste te ostalim čimbenicima poput rasta i razvoja, odnosno primarnog metabolizma, translokaciji asimilata iz primarnog u sekundarni metabolizam, regulaciji ekspresije gena, građi biljnog tkiva i dr. (Malik i Preety, 2018; Tariq i sur., 2023). Tako je na primjer, najčešće najveći udio polifenolnih spojeva koncentriran u listu vaskularnih biljaka, a što je prvenstveno povezano s procesom fotosinteze, odnosno primarnim biljnim metabolizmom (Cheynier i sur., 2013). Naime, primarni i sekundarni biljni metabolizam blisko su povezani složeni procesi bitni za normalan rast i razvoj biljnog organizma, ali i za njegov odgovor na uvjete okoliša. Proizvodnja i translokacija asimilata iz primarnog u sekundarni metabolizam ključan je korak u biosintezi biljnih sekundarnih metabolita, tako i polifenolnih spojeva. Fotosintezom biljka proizvodi ključne metabolite (ugljikohidrate) potrebne za izgradnju polifenolnih spojeva, kao i brojne prekursore (npr. glukozu, piruvate i dr.) ključne za metaboličke puteve biosinteze brojnih polifenolnih spojeva

(šikiminski put). Invazivne biljne vrste karakteristične po snažnoj prilagodljivosti, brzom rastu i otpornosti na stres, često pokazuju povećano nakupljanje polifenolnih spojeva što im pruža prednost nad nativnim vrstama, posebice kada se nađu u novom okruženju (Uzelac i sur., 2023). Prema svemu navedenom, za očekivati je kako će se invazivne biljne vrste iz ovog istraživanja značajno razlikovati u sadržaju analiziranih polifenolnih spojeva (ukupni flavonoidi, ukupni neflavonoidi, ukupni fenolni spojevi) prvenstveno zbog genetskih karakteristika, primarnog habitusa kao i specifičnih uvjeta staništa i njihovoj prilagodbi njima, a što je i potvrđeno rezultatima ovog istraživanja. Naime, prije svega, značajne razlike u sadržaju ukupnih fenolnih spojeva, ukupnih neflavonoida i ukupnih flavonoida između istraživanih invazivnih vrsta utvrđene su ovisno o građi njihove stabljike. Otprilike tri puta više vrijednosti ukupnih fenolnih spojeva utvrđene su kod drvenastih (Ail, Rhu, Rob), u odnosu na zeljaste vrste (Abu, Ama, Amb, Dat, Eri, Gal, Rey, Sol, Sor). Razlog visokih vrijednosti analiziranih ukupnih fenolnih spojeva, uključujući ukupne neflavonoide i flavonoide, kod svih drvenastih vrsta očituje se i u višem sadržaju strukturnih komponenta, odnosno lignocelulozno sastavu, a temeljem kojeg su značajno više vrijednosti celuloze, hemiceluloze i lignina utvrđene kod drvenastih vrsta Ail i Rob u odnosu na druge istraživane zeljaste invazivne vrste. Međusobna povezanost lignocelulozni komponenata i polifenola dokazana je i u drugim znanstvenim istraživanjima, a temeljem kojih je dokazano kako se pojedini polifenolni spojevi vežu s ligninom tvoreći molekule koje utječu na svojstva stanične stijenke (Cheynier i sur., 2013, Malik i Preety., 2018; Korga-Plewko i sur., 2022). Isto tako, spomenute komponente imaju i zajedničke puteve biosinteze koji proizvode prekursore i za lignin i za polifenole, a čime se može potvrditi kako takva tkiva imaju tendenciju i višeg sadržaja ukupnih fenolnih spojeva. Navedeno se potvrdilo i rezultatima ovog istraživanja uz izuzetak vrste Rhu koja prema građi stabljike pripada drvenastim vrstama, a kod koje je za razliku od ostalih iz skupine drvenastih utvrđena značajno niža vrijednost strukturnih komponenata, ali istovremeno najviši sadržaj ukupnih fenolnih spojeva što se može objasniti i drugim ključnim faktorima koji značajno utječu na sadržaj polifenola nekog biljnog tkiva, posebice uvjetima staništa. Od istraživanih drvenastih vrsta, valja istaknuti vrstu Rob po najvišem sadržaju ukupnih flavonoida. Naime, navedena vrsta poznata je po iznimnim alelopatskim sposobnostima, odnosno visokom sadržaju specifičnih flavonoida koji inhibiraju rast okolnih biljaka (Valiño i sur., 2023), a što joj daje prednost pred nativnim vrstama. Valja naglasiti, kako se od analiziranih zeljastih invazivnih biljnih vrsta, vrsta Eri ističe po značajno najvišem sadržaju ukupnih fenolnih spojeva, flavonoida i neflavonoida od ostalih zeljastih vrsta, te istovremeno ima iste vrijednosti sadržaja ukupnih fenolnih spojeva i ukupnih neflavonoida kao i neke drvenaste vrste (Ail i Rob), a što se može objasniti i višim sadržajem celuloze i hemiceluloze kao strukturnim komponentama povezanim sa sadržajem polifenolnih spojeva. Također, drvenaste vrste su

višegodišnje te stoga imaju razvijen snažan obrambeni mehanizam za preživljavanje, što je još jedan od razloga višeg sadržaja fenolnih spojeva takvih vrsta koji jačaju obrambeni sustav biljaka i olakšavaju prilagodbu okolišnim stresorima (Treutter., 2005). Nadalje, još jedan čimbenik utjecaja na sadržaj polifenolnih spojeva je i udio ugljika, odnosno kapacitet skladištenje energije (De Oliveira i sur., 2017; Kumar i sur., 2023), a što je dokazano i rezultatima ovog istraživanja. Naime, kod zeljastih invazivnih vrsta uočena je pozitivna korelacija između ugljika i ukupnih fenolnih spojeva, što ukazuje na činjenicu kako vrste s višim udjelom ugljika i boljim mogućnostima skladištenja energije imaju veći sadržaj fenola, a što se pokazalo na primjeru zeljastih vrsta iz ovog istraživanja. Ovaj odnos sugerira kako zeljaste biljke višeg lignocelulozno sastava imaju i veći udio fenolnih spojeva (De Oliveira i sur., 2017). I drugi autori ističu invazivne vrste kao biljne vrste visokog sadržaja polifenolnih spojeva (Poljuha i sur. (2022), Miguez i sur. (2022), Harrison i sur. (2017) te Shah i sur. (2019), a što potkrjepljuje njihovu tendenciju prilagodbama promjenjivim uvjetima staništa, kompeticiji za resurse i rast nad nativnim vrstama, a koje objedinjuje njihova svojstva invazivnosti. Zanimljivo je kako su pojedina istraživanja dokazala i povišen sadržaj polifenolnih spojeva i u tlima na kojima rastu invazivne biljne vrste poput Rhu što dokazuje kompleksne međusobne interakcije biljaka i ostalih okolišnih čimbenika (Suseela i sur., 2016).

6.2.4. Sadržaj fotosintetskih pigmenata istraživanih invazivnih biljnih vrsta

Fotosintetski pigmenti, primarno klorofili, ključan su dio procesa fotosinteze koji osiguravaju fiksaciju ugljika, sintezu organske tvari i oslobađanje molekularnog kisika, a zaslužni su za apsorpciju svjetlosne energije i njen prijenos u druge dijelove fotosintetskog aparata. Osim klorofila, specifičnu ulogu u procesu fotosinteze imaju i karotenoidi, koji djeluju kao pomoćni pigmenti za apsorpciju svjetlosti, ali imaju i fotozaštitnu i antioksidativnu ulogu u biljnom tkivu (Polishchuk i Antonyak, 2022). Na stopu fotosinteze biljaka djeluje niz čimbenika okoliša, od kojih posebice valja izdvojiti svjetlost kao jedan od ključnih, zatim temperaturu, koncentraciju ugljikovog dioksida i mnoge ostale poput tipa tla, dostupnosti hraniva, kisika, zagađenje zraka i drugo. U uvjetima veće dostupnosti svjetla, temperaturama u rasponu od 25 do 30 °C (ovisno o biljnoj vrsti), većim koncentracijama dostupnog ugljikovog dioksida i vode, proces fotosinteze bit će intenzivniji (Bucher i sur., 2021; Brestic i Allakhverdiev, 2022). Na stopu fotosinteze značajno utječe i građa biljnog tkiva, odnosno lista kao ključnog biljnog organa za proces fotosinteze. Tako na primjer, struktura lista, primarno tip tkiva od kojeg je građen, debljina kutikule, zatim distribucija kloroplasta, gustoća i raspodjela puči u listu, položaj lista na biljci, ali i starost biljnog tkiva značajno utječu na stopu fotosinteze (Terashima i sur., 2011). Temeljem svega navedenog, usprkos složenoj međuzavisnosti brojnih čimbenika

uključujući vrstu, uvjete okoliša i starost biljnog tkiva na sadržaj fotosintetskih pigmenata, pretpostavlja se kako će biljne vrste zeljaste građe imati i viši sadržaj fotosintetskih pigmenata u usporedbi s drvenastim vrstama. Prema rezultatima ovog istraživanja, spomenuta pretpostavka je i potvrđena, a s obzirom kako su se s najvećim sadržajem ukupnih klorofila izdvojila vrste zeljaste građe stabljike i to Gal i Sol te Ama s najvišim sadržajem ukupnih karotenoida u usporedbi sa svim vrstama drvenaste građe. Prije svega, sadržaj klorofila ovisi o izloženosti sunčevu zračenju prilikom čega zeljaste invazivne vrste češće rastu na otvorenim staništima tako izloženije uvjetima jakog osvjetljenja, a posljedično i s višim sadržajem fotosintetskih pigmenata u usporedbi s drvenastim vrstama, koje mogu rasti u zasjenjenijim okruženjima (šuma), slabije dostupnosti UV svjetlosti. Postoji inherentna genetska (struktura lišća, raspodjela biomase, maksimalna visina biljke) i mehanička (zahtjevi biomase za učinkovito izlaganje svjetlu) ograničenja za maksimalnu učinkovitost izlaganja i apsorpcije svjetlosti. Na primjer, puno je teže sve listove biljaka u potpunosti izložiti svjetlosti kada je u pitanju šumska ili drvenasta biomasa s krošnjom, a. zbog čega neke biljke nikada ne mogu izložiti sve svoje listove punoj svjetlosti. Istovremeno, zanimljivo je istaknuti kako u šumskim sastojinama tek od 1 do 20 % svjetla dopire kroz krošnje i lišće drveća do tla (Niinemets, 2010). Nadalje, zeljaste biljne vrste često imaju listove tanje i nježnije građe te razvijaju više lisne biomase sa sitnijim listovima (Branteley i Young, 2010) poput vrsta iz ovog istraživanja Gal, Sol i Ama. Takva lisna biomasa sadrži i viši udio klorofila s obzirom na brži rast, kraći životni ciklus i kraći životni vijek zeljastih invazivnih vrsta, a zbog čega im je veći sadržaj fotostintetskih pigmenata potreban za učinkovitije hvatanje energije, a time i brži rast i razvoj. (Chen i sur., 2013).

Također, vrsta Ama izdvojila se s najvišim vrijednostima ukupnih karotenoida što znači da se izrazito dobro prilagođava okruženjima s većim intenzitetom svjetlosti ili drugim čimbenicima stresa, koristeći pritom ukupnih karotenoida kao antioksidanse između ostalog i za UV protekciju (Vargas-Ortiz i sur., 2021). Navedeno je u skladu s rezultatima istraživanja drugih autora, gdje se vrsta Ama ističe kao iznimno tolerantna vrsta na različite oblike okolišnih stresora u odnosu na nativne vrste nekog područja (Sarker i Oba, 2018).

Osim svjetlosti, temperatura zraka i sadržaj vode u tlu, spominju se u kontekstu glavnih abiotičkih čimbenika koji utječu na fiziološke procese biljaka poput stope fotosinteze. Naime, dok se neto stopa asimilacije ugljikovog dioksida, maksimalna stopa Rubisco i regeneracija ribuloza-bisfosfata te sadržaj klorofila povećavaju u uvjetima veće dostupnosti vode, također se drastično smanjuju u sušnim uvjetima, odnosno uslijed deficita vode (Teng i sur., 2022). Stoga je važno naglasiti kako su vrste s najvećim sadržajem fotosintetskih pigmenata poput Ama i Sol, upravo one koje su najprilagođenije toleranciji izrazito velikih varijacija biotskih i abiotskih stresova. Vrsta Sol dobro uspijeva na staništima siromašnim hranivima, tolerantna

je na brojne biotske i abiotske stresore, izrazito prilagođena velikom rasponu vlažnosti tla, dostupnosti svjetlosti, sadržaju hranivih tvari, temperature ili pH. Vrsta Ama preferira umjerene uvjete tla i vlažnosti, no izrazito dobro podnosi velike varijacije u okolišnim uvjetima odnosno vrlo brzo se oporavlja nakon primjerice dugotrajnog izlaganja suši (Sarker i Oba, 2020). Također, potrebno je naglasiti kako je vrsta s najvišim sadržajem ukupnih klorofila, zeljasta vrsta Gal koja preferira toplu klimu i vlažna staništa. Stoga je jasna poveznica između dostupnosti vode u tlu i povećane stope sinteze fotosintetskih pigmenata. Također, poznato je kako u periodu u kojem su biljke izložene suši, dolazi do smanjenja sadržaja klorofila, što se smatra karakteristikom oksidativnog stresa uzrokovanog foto oksidacijom i degradacijom pigmenata stoga je i za očekivati da vrste koje preferiraju vlažnija staništa ili su iznimno tolerantne na raznoliko okolišne čimbenike imaju veći sadržaj fotosintetskih pigmenata (Farooq i sur., 2012).Također, kako bi biljne vrste mogle provesti proces fotosinteze, te posljedično sintetizirati fotosintetske pigmente osim svijetlosti i vode, zahtijevaju i pomoćne resurse poput dušika, fosfora, itd. Naime, dušik je jedna od ključnih komponenata molekule klorofila i fotosintetskih enzima, dok je magnezij centralni atom molekule klorofila (Posada i sur., 2012, Fathi, 2022), a upravo vrste iz ovog istraživanja s najvišim sadržajem ukupnih klorofila (Gal) i ukupnih karotenoida (Ama) imaju povišene više vrijednosti spomenutih elementa (N i Mg).

Na kraju, važno je istaknuti kako je sadržaj fotosintetskih pigmenata složeno svojstvo na koje utječu brojni čimbenici okoliša, a prilikom čega invazivne biljne vrste imaju brojne adaptivne mehanizme za održavanje visokih razina pigmenta i učinkovitost fotosinteze, a što im posljedično daje i konkurentsku prednost u različitim uvjetima staništa.

6.2.5. Antioksidacijska aktivnost invazivnih biljnih vrsta

Antioksidacijska aktivnost predstavlja sposobnost nekog kemijskog spoja u hvatanju slobodnih radikala i inhibiciji njihovog štetnog utjecaja na stanicu, posebice u supresiji procesa oksidacije kao primarnog mehanizma letalnog djelovanja na stanicu. Biljke imaju sposobnost sintetiziranja neenzimskih antioksidansa putem sekundarnog metabolizma za obavljanje normalnih fizioloških funkcija, ali i za obranu od mikrobnih patogena i biljojeda te kao odgovor na stresne uvjete okoliša (Marksa i sur., 2020). Naime, biotski i abiotski stresori utječu na povećanu proizvodnju slobodnih radikala, posebice ROS u biljnim stanicama što dovodi do indukcije oksidativnog stresa. Kao odgovor na povećani oksidativni stres, biljke povećavaju proizvodnju specifičnih antioksidansa (npr. askorbinska kiselina, glutation, prolin, karotenoidi, fenolne kiseline, flavonoidi, tanini itd.), koji djeluju kao hvatači slobodnih radikala te reduciraju njihovo djelovanje (Kasote i sur., 2015; Neha i sur., 2019). Stoga je povećani sadržaj pojedinih

vrsta vitamina, polifenola, minerala i ostalih specifičnih fitokemikalija snažnog biološki aktivnog djelovanja u izravnoj korelaciji s njenom antioksidacijskom aktivnosti (Galanakis, 2017), odnosno očekuje se kako će biljne vrste općenito višeg sadržaja bioaktivnih spojeva imati i veći antioksidacijski potencijal. Invazivne biljne vrste karakterizira brza prilagodljivost raznolikim životnim uvjetima pa tako i preživljavanju u različitim stresnim uvjetima okoline, a koja prija svega uključuje i povećanu proizvodnju bioaktivnih spojeva kao ključnih u neutralizaciji slobodnih radikala. Time je za očekivati kako će invazivne biljne vrste imati i tendenciju visoke antioksidacijske aktivnosti, odnosno kapaciteta supresije slobodnih radikala. Sve analizirane invazivne vrste iz ovog istraživanja karakteriziraju visoke vrijednosti antioksidacijskog kapaciteta, dok se pojedine vrste kao što je Ama, koja se izdvaja s najvišim utvrđenim antioksidacijskim kapacitetom, te vrste Ail, Amb, Eri, Rey, Rhu, Rob i Sol izdvajaju s vrlo visokim vrijednostima antioksidacijskog kapaciteta od ostalih analiziranih vrsta. S obzirom kako su značajne razlike u analiziranim fitonutrijentima utvrđene i s obzirom na građu stabljike, invazivne biljne vrste uključene u ovo istraživanje također su se izdvojile prema promatranom svojstvu antioksidacijskog kapaciteta ovisno o drvenastoj ili zeljastoj građi. Osim zeljaste vrste Ama, visokim vrijednostima antioksidacijskog kapaciteta izdvojile su se i sve drvenaste vrste ovog istraživanja (Ail, Rhu, Rob), a što je i za očekivati s obzirom na vrlo visoke vrijednosti pojedinih fitonutrijenata (askorbinska kiselina, ukupni fenolni spojevi, ukupni flavonoidi, ukupni neflavonoidi) u tim vrstama. Naime, vrsta Rhu izdvojila se od svih drugih istraživanih invazivnih biljnih vrsta po najvišem sadržaju askorbinske kiseline, ukupnih neflavonoida i ukupnih fenolnih spojeva te je upravo za ovu vrstu utvrđena i vrlo visoka vrijednost antioksidacijskog kapaciteta. Ovdje valja objasniti i izuzetak s obzirom na očekivano, odnosno vrstu Ama za koju je utvrđen najviši antioksidacijski kapacitet iako za tu vrstu nisu utvrđene i najviše vrijednosti pojedinačnih fitonutrijenata, konkretno imala je među nižim sadržajima askorbinske kiseline, ukupnih fenolnih spojeva, flavonoida i neflavonoida kao ključnim antioksidansima. Naime, spomenuta devijacija rezultata može biti objašnjena osjetljivosti metode, odnosno testa kojim se utvrđivao antioksidacijski kapacitet biljnog materijala. U ovom istraživanju za te potrebe korišten je ABTS test koji pokazuje visoku osjetljivost na spojeve hidroflinog (topljive u vodi poput askorbinske kiseline i većine polifenolnih spoejva) i lipofilnog karaktera (topljivi u mastima poput karotenoida, vitamina E). Temeljem provedene kemijske analize fitonutrijenata, ali i karakteristika biljnog materijala jasno je kako većina spojeva analizirana u listu invazivnih biljnih vrsta objedinjuje one hidrofilnog karaktera, dok nema detaljnijeg uvida u one lipofilnog karaktera, a koji također doprinose ukupnom antioksidacijskom kapacitetu nekog biljnog materijala. Upravo zbog navedenog, a kako bi se dobio jasniji uvid u antioksidacijski kapacitet neke biljne sirovine i njegovu korelaciju sa sadržajem specifičnih antioksidansa, potrebno je provesti barem dva

testa. Često se u istraživanjima uz ABTS provodi i FRAP test koji pak pokazuje višu osjetljivost na spojeve hidrofilnog karaktera pa u budućim istraživanjima antioksidacijskog kapaciteta invazivnih biljnih vrsta svakako treba uključiti i druge testove određivanja antioksidacijskog kapaciteta. Navedeni rezultati visokog antioksidacijskog kapaciteta invazivnih biljnih vrsta iz ovog istraživanja ukazuju na njihov potencijal u budućem korištenju posebice u funkcionalne svrhe (Cosme i sur., 2020).

6.3. Energetska vrijednost invazivnih biljnih vrsta

Energetska vrijednost biomase okarakterizirana je analizama gorivih i ne gorivih tvari, elementarnim i lignoceluloznim sastavom, makro i mikro elementima i teškim metalima te ogrjevnim vrijednostima. Utvrđivanje energetske vrijednosti biomase važno je za procjenu njezine iskoristivosti i potencijala kao obnovljivog izvora energije, a odnosi se na količinu energije koja se može dobiti iz biomase kada se koristi kao sirovina za proizvodnju električne energije, toplinske energije ili biogoriva (Rhofita i sur., 2022). Optimalne vrste za daljnje korištenje u energetske svrhe, okarakterizirane su visokim sadržajem suhe tvari, fiksiranog ugljika, ugljika, vodika, lignina i što višim ogrjevnim vrijednostima, te niskim sadržajem pepela, hlapljivih tvari, dušika, sumpora, celuloze i hemiceluloze, ali samo ako se namjeravaju koristiti u procesima izravnog izgaranja (Awasth i Bhaskar, 2019; Cui i sur., 2021; Wang i sur., 2020a; Yan i sur., 2019). Određeni elementi (dušik, fosfor, kalij, kalcij, magnezij, sumpor, klor, bor, željezo, mangan, bakar, cink, nikal i molibden), nužni su za rast i razvoj biljaka (White i Brown, 2010). No, kada se biomasa koristi kao biogorivo, primjerice u procesima izravnog izgaranja, potrebno je provjeriti sadržaj klora, natrija, kalija, magnezija, mangana i silicija te elemenata u tragovima i teških metala poput kadmija, kroma, arsena, žive ili olova zbog mogućih negativnih utjecaja na sam proces ili cijele sustave za izgaranje biomase (Elbersen i sur., 2017; Chen i sur., 2019; Yan i sur., 2024).

6.3.1. Gorive tvari

Sadržaj suhe tvari nadzemne biomase jedan je od najvažnijih parametara za procjenu njene kvalitete u energetske svrhe, iz razloga što zaostaje nakon uklanjanja svih vodenih komponenti, te ukazuje na višu kvalitetu i veću energetsku vrijednost biomase (Adamovics i sur., 2018). U ovom istraživanju najviši sadržaj suhe tvari iznosio je 43,05 % te je utvrđen kod drvenaste vrste Rhu. Biljni materijal s višim sadržajem suhe tvari, kao što je primjerice biomasa drvenastih invazivnih biljnih vrsta (Rhu, Rob, Ail), stabilniji je i općenito duže

zadržava inicijalna svojstva zbog nižeg sadržaja vode (ElGamal i sur., 2023). Viši sadržaj vode smanjuje ogrjevnu vrijednost biomase jer se toplina, odnosno energija koja se oslobađa tijekom procesa izgaranja gubi na isparavanje vode (Tanger i sur., 2013). Stoga se može zaključiti kako niži sadržaj vode, čini biomasu praktičnijom za dugotrajno skladištenje i korištenje u proizvodnji energije (Gościnna i sur., 2021). Biomasu s nižim sadržajem suhe tvari, odnosno višim sadržajem vode, poput suhe tvari zeljastih invazivnih biljnih vrsta ovog istraživanja (Abu, Ama, Amb, Dat, Eri, Gal, Rey, Sol i Sor) čiji je prosječni sadržaj suhe tvari iznosio samo 21,79 %, potrebno je podvrgnuti predtretmanima za dodatno smanjenje sadržaja vode i daljnje korištenje u procesu izravnog izgaranja (Roos 2008; Havlík i sur., 2022). U ovom istraživanju kod drvenastih invazivnih biljnih vrsta (Rhu, Rob, Ail) u odnosu na zeljaste vrste, utvrđen je 83 % viši sadržaj suhe tvari, odnosno spomenute vrste sadrže i veći udio ugljikohidrata, masti, vlakana, ugljika kao komponenata suhe tvari, a što doprinosi njenoj energetskoj vrijednosti. Razlog tome može biti sama struktura i građa biljne vrste, gdje drvenaste vrste poput *Ail, Rhu* i *Rob* imaju čvrste, lignificirane stabljike koje skladište manje vode u usporedbi s mekšim stabljikama zeljastih vrsta ovog istraživanja (*Abu, Ama, Amb, Dat, Eri, Gal, Rey, Sol* i *Sor*) . Također, okolišni uvjeti i preferirana staništa na kojima pojedine vrste obitavaju na neki način diktiraju dostupnost vode, a što može rezultirati višim ili nižim sadržajem suhe tvari analiziranih vrsta. Važno je spomenuti da ljetni period prikupljanja uzoraka s višim prosječnim temperaturama i dužim sušnim razdobljima bez padalina također ima utjecaj na sadržaj suhe tvari istraživanih vrsta. Očekivano je kako su drvenaste vrste, s obzirom na to da puno duži period obitavaju na istom staništu (višegodišnje vrste) za razliku od zeljastih vrsta, bolje prilagođene na godišnje oscilacije u temperaturama i padalinama, te u ljetnom periodu imaju povećanu stopu evapotranspiracije, smanjujući dostupnost vode u lišću, što im ujedno povećava i sadržaj suhe tvari (Vélez-Terranova i sur., 2022). Osim mekše strukture stabljike, zeljaste vrste također se fiziološki brže prilagođavaju iznenadnim promjenama u okolišu, a neke od njih iz ovog istraživanja (*Abu, Dat i Rey*) imaju i veću površinu lisnate biomase. One su prilagođene bržem rastu i razmnožavanju što može biti razlog i višeg sadržaja vode u biomasi, a što uključuje i bržu izmjenu plinova te veći stupanj fotosinteze (Taiz i Zeiger, 2010). S obzirom na ekološke i klimatske čimbenike, moguće je zaključiti kako biljke koje rastu u sušnijim područjima često razvijaju prilagodbe za očuvanje vode, dok vrste koje rastu u vlažnijim uvjetima imaju tendenciju zadržavanja više vode u svojim tkivima, što smanjuje njihov sadržaj suhe tvari (Kramer i Boyer, 1995). Zeljaste vrste poput *Abu, Ama, Amb, Dat, Eri, Gal, Rey, Sol* i *Sor* iz ovog istraživanja imaju značajno niži sadržaj suhe tvari od drvenastih vrsta, te može biti posljedica genetskih osobina biljaka, kao i njihove sposobnosti retencije vode i prilagodbe okolišnim uvjetima (Nantongo i sur., 2018; Khare i sur., 2020; Khussainov i sur., 2024). Primjerice, kod zeljaste invazivne biljne vrste *Rey* koja

preferira izrazito vlažna staništa, utvrđen je izrazito nizak sadržaj suhe tvari u skladu s očekivanjima, a upravo iz tog razloga spomenuta vrsta nije prikladna za korištenje u procesima izravnog izgaranja. No, različita istraživanja potvrđuju da je moguće korištenje takve i slične biomase sa nižim sadržajem suhe tvari u energetske svrhe. Naime, biomasu sa visokim sadržajem vode, kao što je biomasa zeljastih invazivnih biljnih vrsta ovog istraživanja, moguće je zbrinuti kroz neki drugi proces dobivanja energije ili proizvodnje proizvoda dodane vrijednosti poput proizvodnje bioplina (Ahmed i sur., 2022, Impollonia i sur., 2022). Na taj način poštivao bi se i ekološki te ekonomski aspekt ideje uklanjanja invazivnih biljnih vrsta u svrhu pružanja usluge ekosustavu, dok pozornost treba biti usmjerena na cjelokupan proces, od prikupljanja, transporta i skladištenja biomase, do njene pretvorbe u druge oblike i krajnjeg korištenja na što značajno utječe upravo sadržaj suhe tvari biomase (Impollonia i sur., 2022). U usporedbi s literaturom, istraživane vrste pokazuju sličan sadržaj suhe tvari, ovisno o tome je li riječ o drvenastim ili zeljastim vrstama, što ih čini potencijalno korisnim za proizvodnju energije, a pri čemu se viši sadržaj suhe tvari može se smatrati indikatorom veće kvalitete biljnog materijala (Van Meerbeek i sur., 2015; Melane i sur., 2017; Vélez-Terranova i sur., 2022).

Sadržaj hlapljivih tvari u biomasi odnosi se na organske komponente koje su lako zapaljive i oslobađaju se kao plinovi nakon zagrijavanja i isparavanja vode, pri čemu njihov sadržaj u biomasi može pozitivno utjecati na ogrjevnu vrijednost biomase u procesima izravnog izgaranja (Saidur i sur., 2011; Sivabalan i sur., 2021). Također, sadržaj hlapljivih tvari utječe na temperaturu i trenutak zapaljenja biomase (Jia i sur., 2021). Naime, visoka hlapljivost biomase može dovesti do brojnih povoljnih okolnosti u procesima izgaranja s obzirom na nisku temperaturu zapaljenja i dužinu zadržavanja početnog plamena (Sivabalan i sur., 2021), kao što to može biti slučaj kod nekih istraživanih invazivnih biljnih vrsta s visokim sadržajem hlapljivih tvari (Sor, Rob). Nadalje, prema dostupnim literaturnim navodima sadržaj hlapljivih tvari za poljoprivrednu biomasu i zeljaste vrste općenito iznosi otprilike od 60 do 85 % te od 70 do 90 % za šumsku i drvenastu biomasu (Saidur i sur., 2011; García i sur., 2015), a što je u skladu s rezultatima ovog istraživanja. Prosječni sadržaj hlapljivih tvari istraživanih invazivnih biljnih vrsta ukazuje kako drvenaste vrste imaju oko 7 % viši sadržaj hlapljivih tvari od zeljastih vrsta. Pritom je moguće kao poželjne invazivne biljne vrste u procesima izgaranja iz aspekta hlapljivih tvari izdvojiti one sa najvišim sadržajem hlapljivih tvari poput zeljaste vrste Sor i drvenaste vrste Rob. Međutim, značajne varijacije između pojedinih vrsta naglašavaju potrebu za detaljnijom analizom i prilagođavanjem sustava izgaranja kako bi se osigurala optimalna energetska učinkovitost. U usporedbi s literaturom Nunes i sur. (2020) utvrdili su sadržaj hlapljivih tvari od 77,02 % za drvenastu vrstu *Robiniu pseudoacaciu,* dok su Voća i sur., 2020 za zeljastu vrstu *Ambrosia artemisiifolia* utvrdili sadržaj hlapljivih tvari od 71,49 %.

Iako je sadržaj hlapljivih tvari za spomenute vrste (Rob i Amb) u ovom istraživanju nešto niži kod obje, prosječni sadržaj hlapljivih tvari drvenastih i zeljastih invazivnih biljnih vrsta ovog istraživanja, u skladu je s sadržajem hlapljivih tvari ostalih autora. Nadalje, neki autori ističu kako veličina čestica biomase, vrsta, podrijetlo i njena svojstva (poput sadržaja hemiceluloze), baš kao i temperatura procesa izgaranja imaju značajan utjecaj na količinu hlapljivih tvari (Holtmeyer i sur., 2013; Akinrinola, 2014). Navedeno potvrđuju rezultati ovog istraživanja, pri čemu vrste poput Amb, Gal i Rey s nižim sadržajem hemiceluloze imaju i niži sadržaj hlapljivih tvari, dok vrste kod kojih je utvrđen najviši sadržaj hlapljivih tvari (Sor i Rob) imaju i najviši sadržaj hemiceluloze. Također, važno je spomenuti kako sadržaj hlapljivih tvari utječe i na sadržaj fiksiranog ugljika (Basu i Kaushal, 2023), te da će povećanje bilo kojeg od spomenutih parametara (hlapljivih tvari ili fiksiranog ugljika) povećati i ogrjevnu vrijednost biomase (Sivabalan i sur., 2021). Navedeno je u skladu s rezultatima ovog istraživanja te je moguće potvrditi da je kod drvenastih i zeljastih invazivnih biljnih vrsta s višim sadržajem fiksiranog ugljika i / ili hlapljivih tvari, utvrđena viša ogrjevna vrijednost (Rob, Sor, Sol). Rezultati ovog istraživanja sugeriraju da su iz aspekta sadržaja hlapljivih tvari u procesima pretvorbe biomase u energiju, drvenaste vrste prikladnije od zeljastih. No, nepotpuno izgaranje hlapljivih tvari može uzrokovati tamni dim, gubitak topline, onečišćenje i naslage čađe u kotlovima za izgaranje. Stoga je ključno prilagoditi sustave izgaranja za biomasu kroz uvođenje dodatnog zraka kako bi se osiguralo njeno potpuno izgaranje (Mierzwa-Hersztek i sur., 2019; Sivabalan i sur., 2021). Također, sadržaj hlapljivih tvari značajno se razlikuje između pojedinih istraživanih invazivnih biljnih vrsta bez obzira na njihovu strukturnu građu stabljike, te je važno promatrati ne samo jedno svojstvo pojedine vrste biomase veći cijeli spektar parametara energetske vrijednosti pojedine vrste biomase.

Prema elementarnom sastavu, različite komponente gorivih tvari biomase pokazuju različite karakteristike izgaranja, a čine ih ugljik, vodik, sumpor i kisik te dušik od negorivih tvari biomase. Svaki od navedenih elemenata ima važnu ulogu u određivanju energetske vrijednosti biomase i njenoj prikladnosti za termokemijske procese, poput izravnog izgaranja s obzirom na vrstu kemijske veze između spomenutih elemenata, odnosno primarnoj količini energije pohranjene u kemijskoj vezi. Elementi ugljik, vodik i kisik izravno su povezani s različitim procesima biljnog života poput procesa fotosinteze, a njihov sadržaj u biomasi utječu faktori poput svjetlosti, ugljikovog dioksida, temperature, vode i hranjivih tvari (Tao i sur., 2012) te je logično zaključiti da se navedeni procesi znatno razlikuje između biljaka drvenaste i zeljaste građe stabljike. Nadalje, sadržaj ugljika, vodika i kisika koriste se kao glavne varijable u predviđanju i izračunavanju ogrjevnih vrijednosti biomase. U odnosu na ugljen ili klasična fosilna goriva, biljna biomasa ima niži sadržaj ugljika, viši sadržaj kisika, viši sadržaj vodika i

sumpora te nižu ogrjevnu vrijednost, a pri čemu su od spomenutih elemenata poželjni samo ugljik i vodik s višim sadržajima u biljnoj biomasi (Saidur i sur., 2011).

U ovom istraživanju drvenaste invazivne biljne vrste imale su otprilike 12 % viši sadržaj ugljika u odnosu na zeljaste, a pri čemu se s najvišim sadržajem ugljika istaknula drvenasta vrsta Rhu. Sadržaj ugljika kao osnovni i najvažniji element svih vrsta goriva, doprinosi najvećem dijelu organske tvari u biomasi, pri čemu kod različitih vrsta biomase može varirati od 30 do 70 % (Mierzwa-Hersztek i sur., 2019). Izgaranje biomase čini niz kemijskih reakcija kojima ugljik oslobođen iz biomase reagira s kisikom u zraku pritom stvarajući ugljikov dioksid. Ukoliko ugljik iz biomase u potpunosti izgori, količina proizvedenog ugljikovog dioksida jednaka je količini koja je uzeta iz atmosfere tijekom procesa fotosinteze i faze rasta biomase stvarajući zatvoreni ciklus ugljika (Saidur i sur., 2011; Kenney i sur., 2013). Naime, prosječni sadržaj ugljika kod zeljastih vrsta ovog istraživanja je iznosio 46,78 %, dok je kod drvenastih vrsta iznosio 58,28 %, a pri čemu su evidentne razlike u njegovom sadržaju između vrsta ovisno o građi njihove stabljike. Razlog tome može biti taj što drvenaste vrste, imaju viši udio suhe tvari, lignocelulozних vlakana, makronutrijenta i ostalih komponenata, čiju osnovu sastava čini upravo ugljik (Ma i sur., 2018). Nadalje, sadržaj vodika kod drvenastih invazivnih biljnih vrsta bio je 6 % viši od sadržaja vodika kod zeljastih vrsta, gdje se s najvišim vrijednostima istaknula drvenasta vrsta Rob. Sadržaj vodika je također iznimno važna komponenta biomase koja doprinosi višoj ogrjevnoj vrijednosti i učinkovitosti izgaranja goriva (Adamovics i sur., 2018; Silva i sur., 2019). S jedne strane, dok izgaranje sumpora i dušika može uzrokovati daljnje onečišćenje okoliša, s druge strane, viši sadržaj vodika može predstavljati čišće izgaranje biomase, jer prilikom izgaranja vodika u kombinaciji s kisikom nastaje vodena para kao nusprodukt (Liu i sur., 2020). Valja naglasiti, kako se od analiziranih zeljastih invazivnih biljnih vrsta, vrsta Sol ističe po značajno najvišem sadržaju ugljika i vodika od ostalih zeljastih vrsta, a što je rezultiralo i višom ogrjevnom vrijednosti spomenute vrste. Navedeno se može objasniti višim sadržajem ukupnih vlakana kao strukturnih komponenata. Za razliku od elemenata ugljika i vodika, u ovom istraživanju drvenaste invazivne biljne vrste imale su 13 % niži sadržaj kisika, od zeljastih vrsta pri čemu se s najnižom vrijednosti istaknula drvenasta vrsta Rhu.

Naime, kisik je u biomasi prisutan u obliku vode, ugljikohidrata i drugih organskih spojeva, a povećani sadržaj kisika inherentno odgovara nižem sadržaju gorivih elemenata poput ugljika i vodika, a čime se smanjuje ogrjevna vrijednost i učinkovitost izgaranja biomase (Huang i sur., 2009; Neves i sur., 2011; Huber i sur., 2017). Visok sadržaj kisika može rezultirati stvaranjem kemijskih veza s ugljikom i drugim elementima pri čemu nastaju štetne tvari, uključujući ugljikov monoksid, dušikove okside, sumporov dioksid, ugljikovodike, hlapljive organske spojeve i čađu te se stoga njegov viši sadržaj u biomasi smatra nepoželjnim (Sadaka i Johnson, 2011; Ahmed i sur., 2020). Također, drvenaste vrste (Ail, Rhu, Rob) s nižim sadržajem kisika od svih ostalih zeljastih vrsta (Abu, Ama, Amb, Dat, Eri, Gal, Rey, Sor) uz iznimku zeljaste vrste Sol, pokazuju i više ogrjevne vrijednosti.

U ovom istraživanju drvenaste invazivne biljne vrste, imale su niži sadržaj sumpora (40 %) te niži sadržaj dušika (30 %) u odnosu na zeljaste vrste. Zanimljivo je spomenuti da se elementi poput dušika i sumpora dobivaju različitim procesima u interakciji biljke i tla (Tao i sur., 2012). No, nije iznenađenje da šumska tla pokazuju znatno ograničenu dostupnost dušika, dok drvenaste biljne vrste koje se najčešće nalaze na upravo takvim tlima poput drvenastih vrsta ovog istraživanja (Ail, Rhu i Rob), pokazuju različite prilagodbe za regulacijom svojih potreba za dušikom, koji je nužan za njihov rast, i to tijekom različitih perioda u godini. Primjerice, tijekom jesenske sezone, listopadno drveće poput svih drvenastih invazivnih biljnih vrsta iz ovog istraživanja, prenosi dušik iz lišća u procesu starenja i apscizije u svoja drvenasta vlakna, kako bi ga pohranilo za zimu (White i Brown, 2010). Stoga su rezultati ovog istraživanja, gdje je utvrđen niži sadržaj dušika kod drvenastih vrsta u odnosu na zeljaste invazivne biljne vrste, u skladu s očekivanjima. Nadalje, dušik i sumpor su esencijalni u mnogim organskim molekulama, a pri čemu mogu formirati kemijske veze veće količine energije poput C-N, C-S, H-N i H-S od onih C-O, C-H i O-H (Mierzwa-Hersztek i sur., 2019). No, prilikom izgaranja dušik i sumpor mogu uzrokovati nastanak toksičnih plinova poput dušikovih i sumporovih oksida, koji su glavni uzrok ekoloških posljedica poput nastanka kiselih kiša i ispuštanja partikularnih čestica (Sivabalan i sur., 2021). Upravo iz navedenih razloga, dušik i sumpor mogu imati i negativan utjecaj na sustave za izgaranje i okolinu, stoga je u biomasi poželjan njihov što niži sadržaj (Saidur i sur., 2011; Tao i sur., 2012; Borowski, 2022).

Također, kada je riječ o elementarnom sastavu biomase, često se procjenjuju omjeri određenih komponenta poput C/O i C/H, te omjeri O/C, H/C, N/C, S/C, ili omjeri sa sadržajem pepela ili vode. Navedeni omjeri doprinose procjeni ogrjevne vrijednosti, učinkovitosti izgaranja i utjecaja biomase na okoliš, a također mogu osigurati učinkovitu i održivu proizvodnju energije (Saidur i sur., 2011.; Garcia i sur., 2015; Adamovics i sur., 2018).

I drugi autori (Tao i sur., 2012; Borah i sur., 2016; Nunes i sur., 2021, Okoro i sur., 2021) navode slične vrijednosti za ugljik, kisik i sumpor, onim utvrđenim u ovom istraživanju

za različite zeljaste i / ili drvenaste invazivne biljne vrste. Tao i sur., 2012 potvrđuju, kako su baš kao i u ovom istraživanju, utvrđene više vrijednosti sadržaja ugljika i vodika te niže vrijednosti za dušik i sumpor kod drvenastih vrsta u odnosu na zeljaste. No, vrijedi istaknuti kako je sadržaj kisika za drvenaste vrste (Ail, Rhu i Rob) ovog istraživanja, značajno niži od sadržaja kisika drvenastih vrsta kod drugih autora (Tao i sur., 2012; Nunes i sur., 2021; Okoro i sur., 2021). Nadalje, Tao i sur., 2012, navode kako drvenaste vrste uključene u njihovo istraživanje imaju viši sadržaj kisika nego zeljaste biljne vrste, što nije u skladu s rezultatima ovog istraživanja. Borah i sur., 2016, za zeljaste invazivne biljne vrste navode slične vrijednosti sadržaja kisika, dobivenim u ovom istraživanju i to u rasponu od 38,2 do 49,4 %. Također, pojedini autori (Nunes i sur., 2021, Okoro i sur., 2021) utvrdili su značajno niže vrijednosti sadržaja dušika u biomasi invazivnih biljnih vrsta. Nunes i sur (2021) za drvenastu invazivnu biljnu vrstu *Robiniu pseudoaccaciu* naveli su sadržaj dušika od 0,582 %, što je puno niža vrijednost od dobivenih u ovom istraživanju (2,12 %). Okoro i sur., (2021) dobili su još niže vrijednosti dušika za osam različitih invazivnih stranih vrsta na području Afrike u rasponu od 0,08 do 0,40 %. Međutim, s obzirom da je dušik element koji se dobiva iz tla, ove vrijednosti mogu upućivati na tlo siromašnije dušikom, što rezultira značajno nižim vrijednostima dušika u spomenutim istraživanjima. Kod zeljastih invazivnih biljnih vrsta Melane i sur. (2017) te Borah i sur. (2016), utvrdili su raspon vrijednosti sadržaja dušika sukladan onim utvrđenim u ovom istraživanju.

Nadalje, sadržaj svih navedenih komponenta biomase može značajno varirati ovisno o genetskim i fiziološkim karakteristikama vrsta, okolišnim uvjetima rasta i samih staništa, evolucijskom faktoru prilagodbe u skladu s oblikom i trajanjem života (višegodišnje drvenaste vrste, jednogodišnje ili zeljaste trajnice) te starosti pojedine vrste, kao i upravljanju njenom biomasom u smislu metoda prikupljanja, žetve i /ili skladištenja (Tao i sur., 2012). Stoga je jasno, zašto rezultati ovog istraživanja pokazuju značajne varijacije u sadržaju elemenata poput ugljika i vodika koji su značajno viši kod drvenastih vrsta, a razlog tome je njihov iznimno dugi životni vijek kroz koji mogu nakupiti popriličan sadržaj ugljikohidrata, za razliku od zeljastih vrsta ovog istraživanja koje su najčešće produkt jedne vegetacijske sezone te sadrže viši sadržaj kisika, dušika i sumpora.

6.3.2. Negorive tvari

Negorive tvari predstavljaju ostatke koji zaostaju nakon potpunog izgaranja biomase te imaju bitnu ulogu pri procjeni sadržaja korisnih i nekorisnih komponenta biomase. U negorive tvari biomase, ubrajaju se pepeo, koks, fiksiran ugljik i dušik. S obzirom na to da je dušik jedina od negorivih tvari koja pripada elementarnom sastavu biomase, objašnjena je u

prethodnom poglavlju (7.3.1. Gorive tvari) s ostalim komponentama elementarnog sastava biomase (ugljik, vodik, kisik i sumpor) u čiju podjelu pripada.

Biljne vrste za potrebe rasta i razvoja te provedbe bioloških i fizioloških procesa kroz svoj životni vijek akumuliraju različite količine svijetlosti, vode, nutrijenata, mineralnih tvari i dr (DaMatta i sur., 2010). Procesima izgaranja biomase biljnog podrijetla, dolazi do oksidacije organske tvari, smanjenja volumena i mase pri čemu zaostaje mineralna komponenta (Vassilev i sur., 2010). Sadržaja pepela predstavlja anorganski ostatak goriva, u ovom slučaju biomase nakon potpunog izgaranja, a čine ga mineralne komponente poput alkalnih i zemnoalkalnih metala, teških metala, nemetala i drugih elemenata (Abioye i sur., 2023; Xu i sur., 2023). Spomenute tvari u obliku pepela mogu negativno utjecati na procese toplinske razgradnje biomase i njenu ogrjevnu vrijednost stoga je poželjan što niži udio pepela u biomasi (Twardowska i sur., 2004; Puri i sur., 2024). U ovom istraživanju najviši sadržaj pepela u biomasi utvrđen je kod zeljaste invazivne biljne vrste Ama s visokih 26,90 %, dok je najniži sadržaj pepela utvrđen kod drvenaste invazivne biljne vrste Rob (4,83 %). Naime, sadržaj pepela u biomasi varira ovisno o mnogim čimbenicima, poput vrste biomase, razlikama u strukturi tkiva i građe njihove stabljike, okolišnih, abiotskih, biotskih te antropogenih čimbenika, kao i načinu obrade i skladištenju biomase. Primjerice, zeljasta biomasa, baš kao i različiti ostaci iz poljoprivredne proizvodnje (trave, energetske kulture, sjemenke, koštice, ljuske, stabljika, pulpa, žitarice, i dr.), imaju značajno različit sadržaj pepela u odnosu na biomasu drvenastih vrsta i drvne biomase te ostatke iz šumarstva (Mann, J., 2012; Vassilev i sur., 2010). S obzirom na razlike prvenstveno u građi stabljike drvenastih i zeljastih vrsta, značajne razlike u sadržaju pepela u ovom istraživanju, u skladu su s očekivanjima. Drvenaste invazivne biljne vrste ovog istraživanja, u usporedbi sa zeljastima, imaju veći udio svih strukturnih komponenata poput lignina, celuloze i hemiceluloze u biomasi, a također i značajno niži udio makro i mikro elemenata, teških metala. Nadalje, spomenute strukturne komponente uglavnom čine organski spojevi s niskim udjelom mineralnih tvari, prilikom čijeg izgaranja se oslobađa velika količina energije (Clemente i sur., 2011; Ceriani i sur., 2024). S druge strane, zeljaste invazivne biljne vrste često rastu na poljoprivrednim površinama sa značajnim antropogenim utjecajem. Takve površine često podliježu intenzivnoj gnojidbi te tretiranju pesticidima ili herbicidima, a vrste koje na njima obitavaju sklone su izrazito brzom rastu u vrlo kratkom vremenskom periodu što može rezultirati povećanom akumulacijom mineralnih tvari u biljkama te rezultirati većim sadržajem mineralnog ostatka odnosno pepela nakon izgaranja biomase (Ceriani i sur., 2024). Pregledom literature, utvrđene vrijednosti pepela kod ostataka ili nusproizvoda iz poljoprivrednih aktivnosti, sektora šumarstva te prehrambene industrije te biomase raznolikog porijekla kreću se od 0,15 % pa čak i do više od 20 % (Borah i sur., 2016; Özyuğuran i Yaman, 2017). Kod drvenastih vrsta sadržaj pepela je nešto niži te se kreće u

rasponu od 0,52 do 5,14 % (Nunes i sur., 2021), dok se kod zeljastih vrsta navode nešto više vrijednosti sadržaja pepela i to u rasponu od 3,4 pa sve do 20,6 % (Borah i sur., 2016; Melane i sur. 2017; Okoro i sur., 2021). Melane i sur. (2017), za zeljaste korovne invazivne biljne vrste navode vrijednosti sadržaja pepela od 3,4 pa sve do 17,1 %. Pojedini autori istraživali su zasebne invazivne biljne vrste te su Bardak i sur., 2017 te Terzopoulou i Kamperidou., 2022 utvrdili značajno niži sadržaj pepela kod drvenaste invazivne biljne vrste *Ailanthus altissima* od 0,21 % do 4,7 %) od utvrđenog u ovom istraživanju (7,66 %). Za zeljastu invazivnu biljnu vrstu *Ambrosia artemisiifolia,* također se navode niže vrijednosti sadržaja pepela od oko 11 % (Voća i sur., 2020) u odnosu na visokih 20,50 % pepela utvrđenog kod vrste Amb u ovom istraživanju. Za zeljastu invazivnu biljnu vrstu Sol navode se vrijednosti u rasponu od 5 do 20 % pri čemu se vrijednosti sadržaja pepela značajno razlikuju ovisno o dijelu biljke koji je analiziran (Łapczyńska-Kordon i sur., 2022). Navedene vrijednosti sadržaja pepela, značajno su više od sadržaja pepela vrste Ama utvrđenog ovim istraživanjem (6,94 %). Iako postoje značajne varijacije u rezultatima koje se mogu pripisati različitim faktorima (vrsta staništa, građa stabljike, faza rasta i starost biljke i dr.), generalno je viši sadržaj pepela u ovom istraživanju utvrđen kod zeljastih invazivnih biljnih vrsta, čiji je sadržaj čak dva puta viši od sadržaja pepela kod drvenastih invazivnih biljnih vrsta ovog istraživanja. Navedeno je u skladu i s istraživanjima drugih autora (Gramauskas i sur., 2023; Ceriani i sur., 2024). Također, osim velikog raspona sadržaja pepela kod analiziranih vrsta, može se uočiti i negativan utjecaj povećanog sadržaja pepela na ogrjevnu vrijednost biomase (Özyuğuran i Yaman, 2017), što je u ovom istraživanju moguće uočiti na primjeru vrste Ama. Iako se biomasa s povišenim sadržajem pepela može koristiti u termokemijskim procesima pretvorbe poput izravnog zgaranja, ukoliko je taj sadržaj viši od 10 %, kao što je slučaj kod zeljastih invazivnih biljnih vrsta poput vrsta Abu, Ama, Amb, Dat, Gal i Rey iz ovog istraživanja, može doći do formiranja katrana i nakupljanje naslaga u reaktoru, te je nužno provesti određene predtretmane takve biomase (Lee i sur; 2023). Preostali pepeo nakon procesa izgaranja biomase moguće je koristiti u različite svrhe primjerice u poljoprivredi za poboljšanje kiselih tla ili mineralnog sastava tla ili u druge svrhe poput izrade cestovnih materijala, obrada vode i tla, proizvodnje betona i cementa i dr. (James i sur., 2012; Xu i sur., 2023).

Iako se viši sadržaj koksa u inicijalnoj procjeni parametara biomase u procesima izgaranja ubraja među pozitivne karakteristike biomase, može značajno utjecati na karakteristike izgaranja biomase, a time i na učinkovitost samog procesa (Montiano i sur., 2014). Viši sadržaj pepela ili elemenata poput dušika, sumpora, klora, kalija i kalcija često pozitivno koreliraju sa sadržajem koksa te mogu dovesti do nastanka štetnih emisija i korozivnih spojeva te povećati stvaranje taloga i troske što negativno utječe na sustave za izgaranje (Adrados i sur., 2015; Seo i sur., 2020), a navedeno je utvrđeno i kod zeljastih

invazivnih biljnih vrsta ovog istraživanja poput Ama, Amb, Gal i Rey. Stoga se koks u procesima izgaranja najčešće promatra iz negativnog aspekta, osim ukoliko je riječ o njegovoj ciljanoj proizvodnji procesom pirolize (Adrados i sur., 2015). U uzorcima invazivnih biljnih vrsta sadržaj koksa kretao se od najnižeg udjela od 18,39 % kod drvenaste vrste Rob, do najvišeg udjela od 31,67 % kod zeljaste vrste Gal. U procesima izgaranja, viši sadržaj suhe tvari, ugljika, fiksiranog ugljika i lignina, može doprinijeti višem sadržaju koksa, te višoj ogrjevnoj vrijednosti biomase (Kamal Baharin i sur., 2020; Li i sur., 2021; Rejdak i sur., 2022). Slijedom navedenog, viši sadržaj koksa očekivao se kod drvenastih invazivnih biljnih vrsta, no navedeno ne potvrđuju rezultati ovog istraživanja gdje je 22 % viši sadržaj koksa utvrđen upravo kod zeljastih invazivnih biljnih vrsta. Zeljaste vrste s najvišim sadržajem koksa (Ama, Amb, Gal, Rey) su ujedno i vrste koje imaju najviši sadržaj pepela i makroelemenata (kalija, kalcija, magnezija, natrija), što je i za očekivati s obzirom na preferiranje hranjivih tala na antropogeno poremećenim staništima na kojima obitavaju. Temeljem čega je moguće zaključiti kako okolišni čimbenici igraju bitnu ulogu u određivanju kemijskog sastava biomase, a time i njezina ponašanja tijekom izgaranja. Štoviše može se zaključiti kako okolišni čimbenici mogu čak i nadmašiti intrizične karakteristike biljaka poput višeg sadržaja lignina kao termički stabilnije komponente kod drvenastih vrsta, a koji bi trebao posljedično tome rezultirati i višim sadržajem koksa kod drvenastih vrsta. Tome u prilog idu i rezultati drugih autora, koji su kod zeljaste invazivne biljne vrste Amb utvrdili značajno niže vrijednosti koksa (17,62 %) od onih utvrđenih u ovom istraživanju (27,28 %) (Voća i sur., 2020). Također, još niže vrijednosti koksa od onih utvrđenih za drvenastu vrstu Ail (22,09 %) u ovom istraživanju, utvrđene su kod drugih autora (15,27 %) (Peter i sur., 2019). Sadržaj koksa nije primarni parametar čiji se rezultati promatraju kod izgaranja biomase, već je više pažnje usmjereno na sadržaj koksa kod evaluacije produkata nastalih termokemijskom obradom biomase poput kontrolirane pirolize, gdje se dodatne razlike i kvaliteta koksa utvrđuju temeljem morfoloških i strukturnih razlika (Ochoa i sur., 2020). Miješanje različitih tipova biomase ili prethodna obrada biomase s ciljem uklanjanja određenih elemenata mogli bi ponuditi rješenje za optimizaciju performansi sustava za izgaranje i doprinijeti smanjenju negativnih utjecaja visokog sadržaja koksa u pojedinim vrstama biomase (Kamal Baharin i sur., 2020).

U termokemijskim procesima poput izravnog izgaranja, sadržaj fiksiranog ugljika predstavlja zapaljivi ostatak, odnosno čvrstu frakciju ugljika koja ostaje nakon isparavanja hlapljivih komponenti (Sarkar., 2015). U biomasi je poželjan što viši udio fiksiranog ugljika koji značajno utječe na ogrjevne vrijednosti biomase. Biomasa s višim sadržajem fiksiranog ugljika, često ima viši udio suhe tvari i lignina te niži sadržaj pepela i minerala, dok ujedno takva vrsta biomase ima i više ogrjevne vrijednosti (Qi i sur., 2016, Qi i sur., 2018). Vrijedi napomenuti kako je u ovom istraživanju temeljem višeg utvrđenog sadržaja suhe tvari i lignina,

te nižeg sadržaja pepela i mineralnih komponenata bilo za očekivati kako će više vrijednosti fiksiranog ugljika biti utvrđene kod drvenastih invazivnih vrsta, no, suprotno očekivanjima, najviši sadržaj fiksiranog ugljika ipak je utvrđen za zeljastu vrstu Eri. Naime, za spomenutu vrstu utvrđen je i visok sadržaj suhe tvari, te niska količina pepela i mineralnih komponenata, a što je razlog višeg sadržaj fiksiranog ugljika kod spomenute vrste. Naime, ovakva odstupanja mogu biti objašnjena specifičnim okolišnim uvjetima antropogenih staništa na kojima vrsta Eri uobičajeno obitava. Osim navedenog, invazivna biljna vrsta Eri ima viši sadržaj vlakana i čvršću strukturu stabljike u usporedbi s ostalim zeljastim vrstama iz ovog istraživanja. Promatrajući općenito prosjek sadržaja fiksiranog ugljika između drvenastih i zeljastih vrsta iz ovog istraživanja, može se zaključiti kako drvenaste vrste u prosjeku imaju 20 % viši sadržaj fiksiranog ugljika, a čemu je razlog viši sadržaj lignina kao najčvršće strukturne komponente biomase (Ail, Rob), te općenito ukupna količina vlakana (Ail, Rob, Eri), što ujedno doprinosi i većem sadržaju fiksiranog ugljika te višim ogrjevnim vrijednostima (Ail, Rob, Eri). Utvrđene vrijednosti fiksiranog ugljika kod drvenaste vrste Ail te zeljaste vrste Amb drugih autora (Peter i sur., 2019; Voća i sur., 2020) u skladu su s vrijednostima ovog istraživanja. Dok druga istraživanja (Ahmed i sur., 2020; Nunes i sur., 2021; Okoro i sur., 2022) navode značajno više vrijednosti fiksiranog ugljika i kod drvenastih i kod zeljastih invazivnih vrsta, što može ovisiti ne samo o specifičnosti pojedine vrste već i o geografskom podrijetlu ili genetskim razlikama između vrsta. Također, navedene razlike u rezultatima nalažu da je potrebno provesti dodatna istraživanja i razmotriti specifične karakteristike svake pojedine vrste prije njene daljnje upotrebe u energetske svrhe.

7.3.3. Strukturni (lignocelulozni) sastav

Strukturni, odnosno lignocelulozni sastav podrazumijeva osnovnu strukturu, odnosno sastav biljnih vlakana te organskih ekstrakata i anorganskih minerala koja imaju različitu ulogu u kontekstu proizvodnje energije iz biomase, osobito kada je riječ o procesu izravnog izgaranja. Različit sadržaj vlakana u biljnom tkivu podrazumijeva većim dijelom sadržaj dva polimera ugljikohidrata, odnosno celuloze i hemiceluloze te aromatskog polimera, lignina (Xu i Li, 2017; Yousuf i sur., 2020; Sahay, 2022). Štoviše, celuloza, hemiceluloza i lignin čine od oko 85 % pa sve do 90 % lignocelulozne biomase, a čija polimerna struktura i duljina te njihovo poprečno povezivanje značajno variraju, što rezultira različitim karakteristikama toplinske razgradnje (Pasangulapati i sur., 2012). Osim samih karakteristika pojedinog stukturnog vlakna, njihov sadržaj u biomasi biljnog podrijetla, može se razlikovati u ovisnosti o vrsti biomase, različitim fazama razvoja biljke, uvjetima uzgoja, vremenu žetve, lokaciji, klimatskim uvjetima i mnogim drugim faktorima (Wei i sur., 2017; Das i sur., 2020), a što pritom ima veliki

utjecaj na daljnje mogućnosti korištenja biomase (Cui i sur., 2021). Također, različiti fiziološki procesi biljke poput fostosinteze mogu doprinijeti sintezi celuloze i hemiceluloze, s obzirom da spomenute komponente izravno nastaju iz ugljikohidrata (Ivakov i sur., 2017; Zhang i sur., 2021). S druge strane evapotranspiracija može potaknuti povećanje sadržaja lignina kao zaštitnog mehanizma u reakciji biljke na vodni stres (Han i sur., 2022). Prema svemu navedenom, za očekivati je kako će se invazivne biljne vrste iz ovog istraživanja značajno razlikovati u sadržaju celuloze, hemiceluloze i lignina, a što je i potvrđeno rezultatima ovog istraživanja. Značajne razlike u sadržaju celuloze, hemiceluloze i lignina između istraživanih invazivnih vrsta, utvrđene su ovisno o građi njihove stabljike, pri čemu su što viši sadržaj lignina te visok sadržaj celuloze najpoželjnije komponente od navedene tri, kada je riječ o daljnjem korištenju biomase u procesima izravnog izgaranja (Peni i sur., 2022). Otprilike 8 % više vrijednosti celuloze, 4 % više vrijednosti hemiceluloze te čak 32 % više vrijednosti lignina utvrđene su kod drvenastih invazivnih vrsta, što je u skladu s očekivanjima. Naime, drvenaste biljne vrste imaju tendenciju razvijati snažniju i tvrđu strukturu zbog višegodišnjeg rasta čemu u prilog ide i viši sadržaj celuloze. Visoka kristalnost i visok stupanj vodikovih veza u celuloznim mikrofibrilima omogućuje mehaničku stabilnost, hidrofobnost i otpornost koje su zaslužne za uspravan rast, a što je specifično za drvenaste vrste (Nguyen i Trinh., 2022; Li i sur., 2024). Visok sadržaj celuloze u biomasi koja je lako podložna toplinskoj razgradnji doprinosi nastanku zapaljivih plinova, a što posljedično uzrokuje lakše i brže zapaljenje i izgaranje biomase (Wang i sur., 2020a, Wang i sur., 2020b). Iako su utvrđene značajne razlike između pojedinih uzoraka invazivnih vrsta za sve promatrane parametre, drvenasta vrsta Rob ističe se s 41 % višim vrijednostima celuloze od prosjeka svih ostalih vrsta, dok je suprotno očekivanjima, najniži sadržaj celuloze također utvrđen kod drvenaste vrste i to vrste Rhu (15,59 %). Druga istraživanja, navode vrijednosti celuloze kod vrste Rob od otprilike 30 do 40 %, dok su ovim istraživanjem utvrđene vrijednosti od 36,01 % (Sikora i sur., 2022) što je u suglasju s rezultatima ovog istraživanja.

Hemiceluloza je općenito, a s obzirom na svoju strukturu molekule, manje stabilna i sklonija toplinskoj razgradnji (niže temperature potrebne za razgradnju molekule kod izravnog izgaranja) u odnosu na celulozu. Pregledom literature utvrđeno je kako se hemiceluloza razgrađuje pri temperaturama od 200 °C do 300 °C (Xiao i sur., 2001; Bajpai i sur., 2022). Stoga će se tkiva koja u svojoj strukturi sadrže veći udio hemiceluloze u odnosu na celulozu lakše toplinski razgraditi s obzirom da se razgradnja celuloze odvija na temperaturama od 245°C pa do preko 350 °C (Xiao i sur., 2001; Bajpai i sur., 2022). Hemiceluloza se veže s celuloznim vlaknima i ligninom, kako bi ojačala staničnu stijenku, pružajući dodatnu strukturnu potporu, no ujedno omogućuje i elastičnost i fleksibilnost biljke (Nguyen i Trinh., 2022; Cosgrove, 2024). Kod drvenastih vrsta poput Ail, Rhu i Rob iz ovog istraživanja, složenija

struktura stanične stijenke biljaka zahtijeva više hemiceluloze za popunjavanje prostora između celuloznih mikrofibrila (Cosgrove, 2024). S druge strane, zeljaste vrste obično su kraćeg trajanja života i daju prioritet brzom rastu i reprodukciji, ulažući manje u dugoročne strukturne komponente poput lignina, a više u tkiva koja im omogućuju brže životne cikluse, brzi rast i prilagodbu okolišnim uvjetima te je za očekivati kako će upravo zeljaste vrste imati viši sadržaj hemiceluloze u usporedbi s drvenastim vrstama. Navedene karakteristike zeljastih vrsta doprinose nižoj toplinskoj stabilnosti te lakšoj razgradnji makromolekula biomase zeljastih vrsta kada je riječ o termokemijskim procesima poput izravnog izgaranja (Nguyen i Trinh., 2022; Tu i sur., 2022). Iako su u ovom istraživanju drvenaste vrste imale nešto viši prosječni sadržaj hemiceluloze u odnosu na zeljaste vrste, najviši sadržaj hemiceluloze utvrđen je upravo kod zeljaste vrste Sor (29,25 %), što je u suglasju s istraživanjima drugih autora gdje je sadržaj hemiceluloze kod iste vrste iznosio 29,7 % (Gulías i sur., 2018). Najniži sadržaj hemiceluloze, također je utvrđen kod zeljastih vrsta i to kod vrste Rey u vrijednosti od 0,38 %. Navedeni rezultati upućuju na konstataciju kako strukturni sadržaj, odnosno udio pojedinih komponenata lignocelulozno sastava ne ovisi isključivo o tipu vrste ovisno o građi stabljike (zeljaste i drvenaste vrste) već na to značajan utjecaj imaju i drugi čimbenici, posebice ekološki uvjeti nekog specifičnog staništa (Li i sur., 2024). Nadalje, viši sadržaj lignina odgovoran je za jačanje stanične stijenke biljke posebice ukoliko je riječ o trajnim vrstama poput drvenastih. Drvenaste, višegodišnje vrste trebaju tijekom životnog vijeka održavati svoju strukturu i izdržavati različite stresove iz okoline. Naime, poznata je uloga lignina koji pruža strukturnu potporu, trajnost i opstanak biljnih vrsta, posebice zahvaljujući očvršćivanju ksilema za transport vode i hranjivih tvari od korijena pa sve do najudaljenijih listova biljaka. Također, lignin ima i obrambenu ulogu u biljnom tkivu, pri čemu lignificirana stabljika pruža ne samo mehaničku već i obrambenu zaštitu od patogena i degradacije tkiva, te abiotskih i biotskih stresova (Cesarino, 2019). Kada je riječ o termokemijskim procesima, lignin se razgrađuje sporije od celuloze i hemiceluloze i to u širem temperaturnom rasponu, a pritom se navode temperature od 350 do 400 °C (Bajpai i sur., 2022). Neki autori navode još veći temperaturni raspon za razgradnju lignina od 200 °C pa sve do 600 °C (Xiao i sur., 2001). Također, razlike u vrsti biomase doprinose različitoj brzini razgradnje lignina. U tkivu drvenastih vrsta, lignin je toplinski stabilniji od lignina zeljastih vrsta što primjerice u procesu izravnog izgaranja drvenastih vrsta rezultira značajno većim prinosom biougljena, a koji doprinosi poželjnom kontinuiranom oslobađanju energije u takvim procesima (Brebu i Vasile, 2010). Također, viši sadržaj lignina u biomasi, doprinosi povećanju energetske gustoće te stabilnosti goriva (Wang i sur., 2020a), stoga je kod proizvodnje energije iz biomase, procesom izravnog izgaranja, poželjan njegov što viši sadržaj. U istraživanim uzorcima drvenastih invazivnih vrsta iz ovog istraživanja utvrđen je čak 32 % viši sadržaj lignina u

usporedbi sa zeljastim, što je u skladu i s drugim istraživanjima (Tu i sur., 2022). Najviši udio lignina u ovom istraživanju, zabilježen je kod drvenaste vrste Rob sa 17,42 %, dok drugi autori navode nešto više vrijednosti u rasponu od 19 do 30 % (Sikora i sur., 2022). Nadalje, pregledom literature, kod vrste Ail utvrđen je sadržaj lignina viši od 25 % (Terzopoulou i Kamperidou, 2022), dok je u ovom istraživanju sadržaj lignina za vrstu Ail iznosio tek oko 12,89 %. Zanimljivo je istaknuti kako je drugi najviši sadržaj lignina uočen kod zeljaste vrste Rey (16,13 %), a pri čemu drugi autori navode još više vrijednosti lignina kod iste vrste od 20,18 % (Wiatrowska i sur., 2022). Akumulacija lignina u biljnom tkivu može se povećati kao reakcija biljke na stres, a prilikom čega valja naglasiti kako su upravo invazivne biljne vrste često izložene okolišnom stresu, a pritom i snažno adaptibilne na isti. Moguće da iz toga proizlazi značajno povišen sadržaj lignina kod zeljaste vrste Rey u odnosu na druge drvenaste i zeljaste vrste. S druge strane, u skladu s očekivanjima, najniže vrijednosti lignina su utvrđene kod zeljastih vrsta Ama (6,08 %) i Sor (6,98 %).

7.3.4. Makro i mikro elementi, teški metali

Makro i mikro elementi te teški metali imaju značajan utjecaj na učinkovitost procesa daljnje obrade biljne biomase u energetske svrhe. U ovom istraživanju, usporedba koncentracija makroelemenata (Ca, K, Mg, Na) te mikroelemenata i teških metala (Fe, Zn, Cu, Mn, Mo, Pb, Cr, Ni, Cd, Co, Hg) između drvenastih i zeljastih invazivnih biljnih vrsta pokazala je značajne razlike koje mogu biti povezane s njihovim različitim morfološkim i fiziološkim karakteristikama, ekofiziologijom, strategijama rasta i sposobnostima za akumulaciju teških metala. Također, ove razlike imaju ključan utjecaj na energetsku vrijednost biomase, što je pak važno za odabir optimalnog načina obrade (izravno izgaranje, piroliza, anaerobna digestija i dr.). Određeni elementi poput N, P, K, Ca, Mg i S neophodni su za različite biološke procese poput fotosinteze, aktivacije enzima i unos hranjivih tvari (White i Brown , 2010).

Makroelementi, poput K, Ca, Mg i Na prvenstveno se pojavljuju u biljnim stanicama u obliku kationa te su uključeni u transport vode izgradnju staničnih stijenki, signalizaciju, fotosintezu, regulaciju osmotskog tlaka i druge fiziološke procese (Bitomsky i sur., 2024). Pritom, značajan utjecaj na koncentraciju pojedinog makroelementa, osim vrste, odnosno genetskih karakteristika imaju okolišni čimbenici (uključujući ekološke čimbenike, izvore onečišćenja i dr.), antropogeni čimbenici (gnojidba, agrotehničke mjere), fizikalno-kemijska svojstva tla, kao i dostupnost pojedinog elementa u tlu itd. (Bitomsky i sur., 2024). Ovim istraživanjem, utvrđeno je da zeljaste invazivne biljne vrste prosječno imaju više koncentracije makroelemenata u odnosu na drvenaste kod kojih su zabilježene niže koncentracije svih makroelemenata osim Na. Naime, zeljaste invazivne vrste imaju bržu stopu rasta i kraćeg su

trajanja života, što zahtijeva brži unos i učinkovitu upotrebu makroelemenata u funkciji nutritivnih tvari, dok suprotno tome drvenaste vrste postupnije akumuliraju hranjive tvari (Zhang i sur., 2020). Zeljaste vrste mogu imati veću potrebu za K s obzirom da rastu brže od drvenastih vrsta te se češće moraju vrlo brzo prilagoditi novonastalim okolišnim uvjetima (Sardans i sur., 2021). U ovom istraživanju najviša koncentracija K utvrđena je kod zeljaste vrste Ama, a najniža koncentracija kod drvenaste vrste Rob. Nadalje, koncentracija Ca bila je općenito viša kod zeljastih vrsta i to čak otprilike 30 % viša u odnosu na drvenaste, a čemu razlog mogu biti različite adaptacije na uvjete rasta kod drvenastih i zeljastih vrsta (Yuan i sur., 2024). Kod zeljastih invazivnih vrsta iz ovog istraživanja utvrđene su prosječno dva puta više koncentracije Mg u odnosu na analizirane drvenaste vrste. Spomenuto može ukazivati na veću potrebu zeljastih vrsta za fotosintetskom aktivnošću u kratkom vremenskom razdoblju, čime se primjerice povećava akumulacija Mg (Gerendás i Führs, 2013). Visoka koncentracija Na u pojedinim vrstama može ukazivati i na lakšu prilagodbu zeljastih invazivnih vrsta na stresne uvjete, kao što su suša ili slanost tla bez posljedica na njihov rast i razvoj (Balasubramaniam i sur., 2023; Onen i sur., 2017; Rouifed i sur., 2012). Iako je otprilike 8 % viša prosječna vrijednost Na utvrđena kod drvenastih invazivnih vrsta u odnosu na zeljaste, najviše koncentracije Na utvrđene su kod zeljastih invazivnih biljnih vrsta Amb i Ama. Nadalje, koncentracija pojedinih makroelemenata u biomasi može ovisiti o različitim okolišnim čimbenicima, kao i o fiziološkim potrebama te mogućnostima prilagodbe pojedine vrste (Bitomsky i sur., 2024). Kada je riječ o utjecaju makroelemenata poput Ca, K, Mg i Na u biomasi na procese izgaranja važno je istaknuti kako oni sudjeluju u formiranju pepela te mogu značajno utjecati na učinkovitost izgaranja, ali i posljedično na emisiju štetnih plinova. Pojedini autori navode kako zeljasta biomasa u odnosu na biomasu drvenastih vrsta sadrži značajno veće koncentracije alkalnih metala, što je u skladu s rezultatima ovog istraživanja (Striugas i sur., 2018; Yang i sur., 2016; Kortelainen i sur., 2015). Pritom, elementi poput K i Na ponajviše, zbog niske točke taljenja, uzrokuju taloženje pepela i nastanak troske te korozije u kotlovima i pećima, a što u konačnici može uzrokovati onečišćenja i naslage na sustavima za prijenos topline ili izgaranje biomase, smanjiti učinkovitost pretvorbe biomase u energiju, uzorkovati povećanu količinu ne izgorenih ostataka i negativno utjecati na ogrjevnu vrijednost biomase (Esteves i sur., 2023). Nadalje, u procesu izgaranja se često oslobađaju Na i Cl formirajući natrijev klorid, što se smatra negativnom posljedicom s obzirom na korozivnost natrijeva klorida, a time i značajna oštećenja koje on može imati na metalne površine u sustavima za izgaranje (Kaczmarczyk i sur., 2024). Također, K i Ca mogu imati katalitički učinak na procese termokemijske pretvorbe biomase, odnosno mogu utjecati na otpuštanje i izgaranje hlapljivih tvari, te odgodu zapaljenja biomase, kao i stupnjeve oksidacije odnosno pougljenjivanja (Abian i sur., 2017; Carvalho i sur., 2017). S druge strane, Ca i Mg imaju visoku

termodinamičku stabilnost i visoku temperaturu taljenja, što može rezultirati smanjenjem stvaranja troske (Bostrom i sur., 2012). Postoje istraživanja koja navode da bi se kod izgaranja biomase mogli koristiti određeni aditivi, od kojih bi $Mg(NO_3)_2$ i $Cu(NO_3)_2$ trebali biti najučinkovitiji. Spomenuti aditivi trebali bi značajno doprinijeti povišenju temperature taljenja pepela, čime bi smanjili utjecaj elemenata poput K i Ca, na način da stvore nove spojeve visokog tališta, te time potencijalno smanje nastanak (Chen i sur., 2022). Od analiziranih invazivnih biljnih vrsta najniži sadržaj Ca, K i Mg utvrđen je kod drvenastih vrsta (Ail, Rhu, Rob), dok je najniži sadržaj Na utvrđen kod zeljastih vrsta i to kod vrste Rey, a zatim slijede vrste Eri i Sol bez statistički značajne razlike među njima. S najnižim sadržajem Ca uz sve drvenaste vrste (Ail, Rhu i Rob) izdvajaju se i pojedine zeljaste vrste (Eri, Rey, Sol i Sor), dok se s najnižim sadržajem K i Mg istaknula drvenasta vrsta Rob. U ovom istraživanju potvrđene su više koncentracije mikrolemenata i teških metala kod zeljastih invazivnih biljnih vrsta, što je u skladu s literaturom (Kortelainen i sur., 2015; Yang i sur., 2016; Striugas i sur., 2018). Nadalje, Zn, Cu, Mn, Fe i B bitni su mikroelementi koji pridonose brzom rastu biljaka, dok važnu ulogu u biljnim procesima imaju Mo, Cl i Ni. Iako su biljkama potrebni u manjim količinama, imaju nezamjenjivu ulogu u biosintezi proteina, nukleinskih kiselina, ekspresiji gena, metabolizmu ugljikohidrata i lipida, toleranciji na stres, sintezi klorofila, sekundarnih metabolita itd. (Jatav i sur., 2020; Abdoli, 2020; Dar i sur., 2020). Nadalje, koncentracija svih mikroelemenata bila je viša kod zeljastih vrsta u odnosu na drvenaste invazivne biljne vrste. Tako su kod zeljastih vrsta utvrđene dva puta više vrijednosti Fe, dok su najviše koncentracije utvrđene kod zeljastih vrsta Ama i Amb bez statističke razlike među spomenutim vrstama. Također, u odnosu na drvenaste invazivne biljne vrste kod zeljastih vrsta utvrđene su 90 % više koncentracije Zn, oko 10 % više koncentracije Cu, otprilike 57 % više vrijednosti Mn te oko 33 % više vrijednosti Co (s najvišom koncentracijom utvrđenom kod zeljaste vrste Amb). Također, oko 80 % više vrijednosti Mo i otprilike 73 % više koncentracije Ni, također su utvrđene kod zeljastih invazivnih biljnih vrsta u odnosu na drvenaste (s najvišom koncentracijom utvrđenom kod zeljaste vrste Sol). Iako su biljkama potrebni u relativno malim količinama za pravilan vegetativni rast i reproduktivne potencijale, biljke poput zeljastih iz ovog istraživanja ih nakupljaju mikroelemente u većim količinama u odnosu na drvenaste vrste. Razlog tome može biti njihov kratak životni vijek u kojem imaju tendenciju akumulacije i apsorpcije što veće količine mikroelemenata za potrebe rasta i reprodukcije, odnosno stvaranja što veće količine biomase u što kraćem vremenskom periodu (Nadeem i sur., 2018).

Prema rezultatima ovog istraživanja, zeljaste invazivne vrste prosječno sadrže i više koncentracije analiziranih teških metala (Cd, Cr, Hg, Pb) u odnosu na drvenaste vrste. Tako su 29 % više koncentracije Cd, 85 % više koncentracije Cr te 84 % više koncentracije Pb uočene kod zeljastih invazivnih biljnih vrsta. Naime, zeljaste invazivne vrste, npr. kao što je to

Ama iz ovog istraživanja pokazuju tendenciju hiperakumulacije elemenata iz tla, a što je i razlog zašto je i u spomenutoj vrsti utvrđen najviši sadržaj skoro svih analiziranih teških metala (Cd, Cr, Hg). Liu i sur. (2019) u svojem istraživanju potvrđuju spomenuti trend hiperakumulacije za zeljaste invazivne vrste u odnosu na drvenaste, a što se poklapa s rezultatima ovog istraživanja. Teški metali općenito dio su elementarnog sastava biljne biomase, a njihova koncentracija u pojedinoj biomasi izuzetno je važna i iz segmenta moguće energetske oporabe biljne biomase. Naime, spomenuti metali nakon npr. izravnog izgaranja zaostaju kao pepeo što ima negativni učinak ponajviše na održavanje sustava (peći) koji se koriste u navedene svrhe (Gedi i sur., 2017). Stoga je ključno utvrditi njihove koncentracije prije korištenja biomase kako bi se mogao odrediti najbolji mogući daljnji način upotrebe, odnosno gospodarenja biomasom, ali i pepelom koji ostaje nakon izgaranja. Uz navedeno, teški metali značajan su rizik i iz ekološkog i zdravstvenog aspekta. Također, teški metali teško ili uopće ne izgaraju, a pri čemu takve komponente imaju i negativan utjecaj na ogrjevnu vrijednosti biomase. Navedeno, potvrđuju i rezultati ovog istraživanja prema kojima su najniže ogrjevne vrijednosti biomase utvrđene kod zeljastih vrsta (Abu, Ama, Amb i Gal), a kod kojih su istovremeno utvrđene i najviše koncentracije teških metala (Pb, Cr, Cd, Hg). Uočeno je odstupanje od navedenog samo u slučaju zeljaste vrste Sol, koja ima tendenciju nakupljanja većih količina teških metala, no i dalje ima višu ogrjevnu vrijednost (19,67 MJ/kg) od ostalih zeljastih pa čak i pojedinih drvenastih vrsta ovog istraživanja. Prema navedenom može se istaknuti kako navedene zeljaste vrste (Au, Ama, Amb, Gal) iz aspekta koncentracije teških metala nisu optimalne, niti poželjne za procese izravnog izgaranja.

Iz aspekta analiziranog sastava makro i mikro elemenata te teških metala, mogu se istaknuti drvenaste invazivne vrste iz ovog istraživanja (Ail, Rhu i Rob) kao poželjne u procesima izravnog izgaranja s ciljem proizvodnje energije, a s obzirom na značajno niži sadržaj svih navedenih elemenata u odnosu na zeljaste vrste. Izravnim izgaranjem takve drvenaste biomase može se značajno pozitivno utjecati na održavanje sustava za izgaranje u smislu manjih količina pepela, a posljedično i manjeg zaostajanja troske, naslaga i dr. te viših ogrjevnih vrijednosti, a što je važno i iz ekonomskog gledišta.

7.3.5. Ogrjevna vrijednost

Ogrjevna vrijednost smatra se ključnim pokazateljem energetske kvalitete biomase s obzirom da predstavlja količinu pohranjene energije u biomasi, a općenito je određena gornjom i donjom ogrjevnom vrijednosti (Saidur i sur., 2011; Kiang, 2018). Biomasa s višim gornjim i donjim ogrjevnim vrijednostima pokazuje veću iskoristivost i prikladnost za izravne procese izgaranja, a čime se osigurava efikasnija pretvorba energije. U ovom istraživanju

otprilike 12 % više gornje ogrjevne vrijednosti i oko 12,5 % više donje ogrjevne vrijednosti utvrđene su za drvenaste invazivne biljne vrste u odnosnu na zeljaste, a što je u skladu s drugim istraživanjima (Clauser i sur., 2021). Općenito, za biomasu biljnog podrijetla očekivane gornje ogrjevne vrijednosti kreću se u rasponu od 2 do 20 %, što prvenstveno ovisi o sadržaju vode u biomasi (Yamamoto i sur., 2021). Osim, sadržaja vode, odnosno suhe tvari biomase, kemijski sastav (pepeo, koks, fiksirani ugljik, hlapljive tvari, ugljik, vodik, kisik), sadržaj elemenata (Ca, K, Mg, Na) i strukturni sastav (lignin, celuloza) značajno utječu na ogrjevnu vrijednost biomase. Ovim istraživanjem utvrđeno je da drvenaste vrste prosječno imaju otprilike 12 % više ogrjevne vrijednosti od zeljastih vrsta, a što je bilo i za očekivati s obzirom na prosječno više vrijednosti sadržaja suhe tvari, hlapljivih tvari, ugljika, vodika i strukturnih vlakana, te nižeg udjela pepela, kisika, te mikro i makro elemenetata kod drvenastih vrsta u odnosu na zeljaste. Kauter i sur (2003), istraživali su parametre ogrjevnih vrijednosti biomase te utvrdili kako viši sadržaj vode (već od 16 %) može smanjiti ogrjevnu vrijednost za čak 25 %. To je rezultat potrebe za dodatnom energijom koja se troši na isparavanje vode čime se smanjuje učinkovitost izgaranja. Adamovics i sur. (2018), također navode da drvenaste vrste imaju višu ogrjevnu vrijednost od zeljastih vrsta, te da su ogrjevne vrijednosti biomase obrnuto proporcionalne sadržaju vode. Nadalje, rezultati ovog istraživanja ukazuju kako različiti čimbenici mogu utjecati (povoljno ili nepovoljno) na ogrjevnu vrijednost biomase. Primjerice, drvenaste invazivne vrste imale su viši sadržaj suhe tvari, fiksiranog ugljika, ugljika, vodika što ih čini pogodnijima za energetsko iskorištavanje izravnim izgaranjem te doprinose ukupnom sadržaju energije proizvedene u obliku topline kada biomasa potpuno izgori (Etim i sur., 2022). Drvenaste biljne vrste prema rezultatima ovog istraživanja imaju i viši sadržaj strukturnih komponenata biomase (celuloze, hemiceluloze i lignina), a što ponovno pozitivno utječe na ogrjevnu vrijednost. Naime, strukturne komponente, odnosno molekule poput lignina, bogate su energijom što doprinosi višim ogrjevnim vrijednostima biomase te rezultira efikasnijim, duljim i stabilnijim izgaranjem biomase (Lunguleasa i sur., 2020). Tako se primjerice s najvišim ogrjevnim vrijednostima izdvajaju drvenaste vrste Ail, Rhu i Rob, te zeljasta vrsta Sol, koje su imale i najviši sadržaj lignina u ovom istraživanju. S druge strane, viši sadržaj pepela, odnosno anorganskih elemenata u biomasi može nepovoljno utjecati na njezinu ogrjevnu vrijednost. U ovom istraživanju, najviši sadržaj pepela utvrđen je kod zeljastih invazivnih vrsta Ama i Amb koje su imale i najniže ogrjevne vrijednosti. Temeljem svega, valja ponovno naglasiti kako biomasa drvenastih invazivnih vrsta iz ovog istraživanja ima prosječno više ogrjevne vrijednosti od zeljastih te se smatra poželjnijom u procesima pretvorbe biomase u energiju, a što je u suglasju i s istraživanjima drugih autora (Nunes i sur. 2020; Nunes i sur 2021; Okoro i sur., 2021; Melane i sur. 2017; Borah i sur., 2016; Mann, 2012; Kauter i sur., 2003). Razlike u rezultatima između pojedinih drvenastih i zeljastih vrsta ovog istraživanja, a u skladu s

literaturom (Wei i sur., 2017; Das i sur., 2020), najviše su pod utjecajem kemijskog, elementarnog i strukturnog sastava odnosno specifičnim karakteristikama pojedine vrste, a pri čemu dodatno značajan utjecaj na ogrjevne vrijednosti biomase mogu imati specifični klimatski uvjeti te ekološki čimbenici staništa, uvjeti uzgoja, vrijeme žetve, lokacija, biljna fenofaza i mnogi drugi faktori (Wei i sur., 2017; Das i sur., 2020). U konačnici, rezultati ovog istraživanja potvrđuju da drvenaste invazivne biljne vrste pokazuju viši energetski potencijal za izravno izgaranje. S druge strane, zeljaste vrste, iako imaju niže ogrjevne vrijednosti, mogu imati specifične prednosti kao što viši sadržaj vode i niži sadržaj suhe tvari, viši udio hlapljivih komponenata te niži sadržaj lignina, što se može uspješnije iskoristiti za neke duge procese pretvorbe osim izravnog izgaranja, poput anaerobne digestije, fermentacije ili hidrotermalnih procesa za dobivanje proizvoda dodane vrijednosti.

7. ZAKLJUČAK

Temeljem rezultata istraživanja identifikacije i inventarizacije invazivnih biljnih vrsta s područja Žumberačkog gorja, te utvrđivanja njihove energetske i funkcionalne vrijednosti može se zaključiti sljedeće:

1. Inventarizacija i determinacija biljnih vrsta na području Parka prirode Žumberak - Samoborsko gorje rezultirala je popisom od ukupno 194 biljne vrste na 24 mikrolokacije, pri čemu je površina istraživanog područja iznosila ukupno 49.673,185 ha. Od ukupnog broja determiniranih vrsta, izdvojeno je njih 12 iz kategorije invazivnih, a pri čemu je kriterij kvantifikacije na pojedinoj mikrolokaciji bio izdvojiti samo iznimno dobro zastupljene vrste koje tvore guste sastojine te sukcesivno uzrokuju gubitak bioraznolikosti na pojedinoj mikrolokaciji. Spomenutih 12 vrsta kategorizirano je prema građi stabljike na drvenaste: *Ailanthus altissima*, *Rhus typhina* i *Robinia pseudoacacia* i zeljaste invazivne biljne vrste: *Abutilon theophrasti*, *Amaranthus retroflexus*, *Ambrosia artemisiifolia*, *Datura stramonium*, *Erigeron annuus*, *Galinsoga ciliata*, *Reynoutria japonica*, *Solidago gigantea* i *Sorghum halepense*. Prema životnim oblicima i trajanju života, najveći broj vrsta ovog istraživanja (42 %) pripada u kategoriju jednogodišnjih Therophyta, dok prema flornom elementu, 58 % njih pripada u skupinu invazivnih vrsta porijeklom iz Amerike. Temeljem navedenog, hipoteza da je moguće identificirati strane invazivne biljne vrste koje zadovoljavaju kriterije za daljnje korištenje njihove biomase se potvrđuje.

2. Rezultati istraživanja pokazuju kako invazivne vrste nije moguće isključivo selektirati prema građi stabljike na one koje će biti boljih energetskih svojstava (drvenaste) i boljih funkcionalnih svojstava (zeljaste). Drvenastve invazivne vrste iz ovog istraživanja pokazuju bolja energetska svojstva u odnosu na zeljaste, između ostalih i više ogrjevne vrijednosti, što ih izdvaja kao poželjne u procesu izravnog izgaranja. Osim boljih energetskih svojstava, drvenaste vrste također pokazuju iznimno visok sadržaj pojedinih fitonutrijenata, suprotno očekivanjima. Naime, drvenaste vrste: *Ailanthus altissima*, *Rhus typhina*, *Robinia pseudoacacia* imaju prosječno viši sadržaj fitonutrijenata, pigmentnih spojeva te viši antioksidacijski kapacitet u odnosu na zeljaste. Stoga je nemoguće sa sigurnošću donijeti zaključak vezan uz preferiranu opciju daljnjeg korištenja biomase, u funkcionalne i energetske svrhe, temeljen samo na građi njihove stabljike (drvenaste i zeljaste vrste). Dio hipoteze koji navodi da drvenaste invazivne biljne vrste pokazuju bolja energetska svojstva je potvrđen, dok dio hipoteze koji navodi da zeljaste invazivne biljne vrste imaju veći udio fitonutrijenata nije potvrđena.

3. Rezultati analize korelacija između energetskog sastava i fitonutrijenata provedene su zasebno za drvenaste i zeljaste vrste te za svaki od parametara koji pripada energetskom sastavu i skupini fitonutrijenata, stoga je nemoguće izvesti jednoznačni zaključak navedenog. Naime, ukoliko energetski sastav promatramo kroz ogrjevnu vrijednost, kao parametar koji objedinjuje većinu komponenata koji utječu na energetsku vrijednost neke sirovine, onda kod drvenastih vrsta nema korelacije općenito, a tako niti negativne između ogrjevnih vrijednosti i fitonutrijenata. Kod zeljastih vrsta također nije utvrđena negativna korelacija, već suprotno, pozitivna i to samo između ogrjevnih vrijednosti i sadržaja ukupnih fenola, a prilikom čega valja istaknuti da je to samo jedan od promatranih fitonutrijenata. Temeljem svega, jasan suodnos ili pak međusobna povezanost između komponenata energetske i funkcionalne vrijednosti nije uočljiva niti kod drvenastih niti kod zeljastih vrsta ovog istraživanja. Ovi rezultati potvrđuju da energetski pogodne vrste poput drvenastih vrsta mogu imati i značajnu funkcionalnu vrijednost, a čime se ruši prethodna pretpostavka o negativnoj vezi između navedenih karakteristika. Slijedom navedenog, hipoteza koja navodi da je povoljan energetski sastav u negativnoj korelaciji s količinom fitonutrijenata nije potvrđena.

4. Slijedom provedenih analiza funkcionalne vrijednosti moguće je istaknuti drvenastu vrstu *Rhus typhina* koja se izdvaja visokim sadržajem askorbinske kiseline i polifenolnih spojeva čime vrsta može pokazivati potencijal korištenja u npr. kozmetičkoj i farmaceutskoj industriji. Zeljaste invazivne biljne vrste *Galinsoga ciliata, Solidago gigantea* i *Amaranthus retroflexus* vrijedan su izvor klorofilnih pigmenata i karotenoida, a čime se mogu koristiti u industrijama proizvodnje prirodnih bojila. Važno je izdvojiti da sve invazivne vrste ovog istraživanja karakterizira visok antioksidacijski kapacitet, odnosno visok sadržaj fitonutrijenata značajne sposobnosti inhibicije slobodnih radikala, a što ih izdvaja kao potencijalne sastavine u prevenciji oksidativnog stresa.

5. Analizom energetskih svojstava, izdvajaju se drvenaste vrste *Ailanthus altissima* i *Robinia pseudoacacia* kao najbolje u procesu izravnog izgaranja. Drvenasta vrsta *Rhus typhina* te zeljaste vrste *Erigeron annuus* i *Solidago gigantea* mogu se izdvojiti kao prikladne za ostale termokemijske procese kao što su: piroliza, plinifikacija, torefakcija, ali i za hidrotermalne procese. Sve zeljaste invazivne vrste prikladne su za proces anaerobne digestije ili hidrotermalne procese. Temeljem svega može se zaključiti da i drvenaste i zeljaste invazivne vrste mogu biti vrijedan izvor zelene energije.

8. POPIS LITERATURE

Abdoli M. (2020). Effects of Micronutrient Fertilization on the Overall Quality of Crops. Plant Micronutrients: Deficiency and Toxicity Management, 31-71.

Abián M., Alzueta M.U., Carvalho A., Rabaçal M., Costa M. (2017). Role of potassium and calcium on the combustion characteristics of biomass obtained from thermogravimetric experiments. Energy & Fuels, 31(11), 12238-12246.

Abioye K.J., Harun N.Y., Sufian S., Yusuf M., Jagaba A.H., Ekeoma B.C., Kamyab H., Sikiru S., Waqas S., Ibrahim H. (2023). A review of biomass ash related problems: mechanism, solution, and outlook. Journal of the Energy Institute, 101490.

Adamovics A., Platace R., Gulbe I., Ivanovs S. (2018). The content of carbon and hydrogen in grass biomass and its influence on heating value. Engineering for rural development, 17(1), 1277-1281.

Adams S. N., Jennings S., Warnock N. (2020). Plant invasion depresses native species richness, but control of invasive species does little to restore it. Plant ecology & diversity, 13(3-4), 257-266.

Adrados A., De Marco I., Lopez-Urionabarrenechea A., Solar J., Caballero, B. (2015). Avoiding tar formation in biocoke production from waste biomass. Biomass and bioenergy, 74, 172-179.

Agrawal A. (2023). Vitamin C as A Possible Immunity Booster. International Journal of Scientific Research and Management (IJSRM). Volume 11(02), 828-832.

Ahmed A., Bakar M.S.A, Hamdani R., Park Y.K., Lam S.S., Sukri R.S., Hussain M., Majeed K., Phusunti N., Jamil F., Aslam, M. (2020). Valorization of underutilized waste biomass from invasive species to produce biochar for energy and other value-added applications. Environmental Research, 186, 109596.

Ahmed I., Ali A., Ali B., Hassan M., Hussain S., Hashmi H., Ali Z., Soomro A., Mukwana, K. (2022). Production of pellets from furfural residue and sawdust biomass: effect of moisture content, particle size and a binder on pellet quality and energy consumption. BioEnergy Research, 1-12.

Akinrinola F.S. (2014). Torrefaction and combustion properties of some Nigerian biomass. Doctoral dissertation, University of Leeds.

Alam M.N., Bristi N.J., Rafiquzzaman M. (2013). Review on in vivo and in vitro methods evaluation of antioxidant activity. Saudi pharmaceutical journal, 21(2), 143-152.

Alamgir A.N.M. (2017). Medicinal, Non-medicinal, Biopesticides, Color- and Dye-Yielding Plants; Secondary Metabolites and Drug Principles; Significance of Medicinal Plants; Use of Medicinal Plants in the Systems of Traditional and Complementary and Alternative Medicines (CAMs). In: Therapeutic Use of Medicinal Plants and Their Extracts: Volume 1. Progress in Drug Research, vol 73. Springer, Cham.

Alara O.R., Abdurahman N.H., Ukaegbu C.I. (2021). Extraction of phenolic compounds: A review. Current research in food science, 4, 200-214.

Alsaeedi A., Elgarawani M.M., Alshaal T., Elhawat N. (2022). Silicon-and nanosilicon-mediated drought and waterlogging stress tolerance in plants. In Silicon and Nano-silicon in Environmental Stress Management and Crop Quality Improvement (121-152). Academic Press.

Al-Snafi A.E. (2017). Medical importance of Datura fastuosa (syn: Datura metel) and Datura stramonium-A review. IOSR Journal of Pharmacy, 7(2), 43-58.

Ameh V.I., Ayeleru O.O., Nomngongo P.N., Ramatsa I.M. (2024). Bio-oil production from waste plant seeds biomass as pyrolytic lignocellulosic feedstock and its improvement for energy potential: A review. Waste Management Bulletin.

Anerud E., Bergström D., Routa J., Eliasson L. (2021). Fuel quality and dry matter losses of stored wood chips-Influence of cover material. Biomass and Bioenergy, 150, 106109.

Anwar Z., Gulfraz M., Irshad M. (2014). Agro-industrial lignocellulosic biomass a key to unlock the future bio-energy: a brief review. Journal of radiation research and applied sciences, 7(2), 163-173.

AOAC. (1995). Official Methods of Analysis, 16th ed.; Association of Official Analytical Chemists: Washington, DC, USA.

AOAC. (2002). Official Methods of Analysis, 17th ed.; Association of Official Analytical Chemists: Washington, DC, USA.

Assis G.B., Pilon N.A., Siqueira M.F., Durigan G. (2021). Effectiveness and costs of invasive species control using different techniques to restore cerrado grasslands. Restoration Ecology, 29, e13219.

Awasthi A., Bhaskar T. (2019). Combustion of lignocellulosic biomass. In Biofuels: Alternative Feedstocks and Conversion Processes for the Production of Liquid and Gaseous Biofuels. 267-284.

Baiano A., Del Nobile M.A. (2016). Antioxidant compounds from vegetable matrices: Biosynthesis, occurrence, and extraction systems. Critical reviews in food science and nutrition, 56(12), 2053-2068.

Bajpai P., Jana U., Ratnapandian S. (2022). Assessment of changes in corn husk fibres after acid treatment. Tekstilec, 65(2), 106-112.

Balasubramaniam T., Shen G., Esmaeili N., Zhang H. (2023). Plants' Response Mechanisms to Salinity Stress. Plants, 12(12):2253.

Baldi S., Bradesi P., Muselli A. (2022). Guaianolide Derivatives from the Invasive Xanthium spinosum L.: Evaluation of Their Allelopathic Potential. Molecules. 27(21):7297.

Banerjee N. (2023). Biomass to Energy — an Analysis of Current Technologies, Prospects, and Challenges. Bioenerg. Res. 16, 683–716.

Banwo K., Olojede A.O., Adesulu-Dahunsi A.T., Verma D.K., Thakur M., Tripathy S., Singh S., Patel A.R., Gupta A.K., Aguilar C.N., Utama G.L. (2021). Functional importance of bioactive compounds of foods with Potential Health Benefits: A review on recent trends. Food Bioscience, 43, 101320.

Barata-Soares A.D., Gomez M.L., Mesquita C.H., Lajolo F.M. (2004). Ascorbic acid biosynthesis: A precursor study on plants. Braz. J. Plant Physiol., 16, 147–154.

Barba-Ostria C., Carrera-Pacheco S.E., Gonzalez-Pastor R., Heredia-Moya J., Mayorga-Ramos A., Rodríguez-Pólit C., Zúñiga-Miranda J., Arias-Almeida B., Guamán L.P. (2022). Evaluation of Biological Activity of Natural Compounds: Current Trends and Methods. Molecules 27(14):4490.

Bardak S., Nemli G., Tiryaki S. (2017) The influence of raw material growth region, anatomical structure and chemical composition of wood on the quality properties of particleboards. Maderas, Ciencia y tecnología, 19(3), 363–372.

Barman K. K., Roy D. (2022) Utilization of Weed Biomass. Technological glimpses on weeds and their management. 3 International Weed Conference, AAU, Anand, Gujarat, INDIA, 1-3.

Barney J.N., Tekiela D., Dollete E., Tomasek B. (2013). What is the “real” impact of invasive plant species?. Front Ecol Environ. 11:322–329.

Barokini T.I., Babalola F.D. (2012). Management of invasive plant species in Nigeria through economic exploitation: lessons from other countries. Management of Biological Invasions, Volume 3, Issue 1: 45–55.

Barros V., Oliveira M.T., Santos M.G. (2021). Low foliar construction cost and strong investment in root biomass in Calotropis procera, an invasive species under drought and recovery. Flora, 280, 151848.

Basrek L. (2019). Invazivne biljne vrste i mogućnosti uklanjanja. Edukativno-promotivni materijal, projekt Sava TIES. Zagreb, Javna ustanova za upravljanje zaštićenim područjima i drugim zaštićenim dijelovima prirode na području Zagrebačke županije „Zeleni prsten”.

Basu P., Kaushal P. (2023). Biomass Gasification, Pyrolysis, and Torrefaction: Practical Design, Theory, and Climate Change Mitigation. Elsevier Science & Technology. 63-105.

Batra S. W. T. (1979). Insects associated with weeds of the northeastern United States: quickweeds, Galinsoga ciliata and G. parviflora (Compositae). Environmental Entomology, 8(6), 1078-1082.

Bazaluk O., Kieush L., Koveria A., Schenk J., Pfeiffer A., Zheng H., Lozynskyi V. (2022). Metallurgical Coke Production with Biomass Additives: Study of Biocoke Properties for Blast Furnace and Submerged Arc Furnace Purposes. Materials (Basel) 1, 15(3):1147.

Bazylko A., Boruc K., Borzym J., Kiss A.K. (2015). Aqueous and ethanolic extracts of Galinsoga parviflora and Galinsoga ciliata. Investigations of caffeic acid derivatives and flavonoids by HPTLC and HPLC-DAD-MS methods. Phytochemistry Letters, 11, 394-398.

Belščak-Cvitanović A., Durgo K., Huđek A., Bačun-Družina V., Komes, D. (2018) Overview of polyphenols and their properties. In Polyphenols: Properties, Recovery, and Applications. Woodhead Publishing: Cambridge, UK, 2018; 3–44.

Benelli G., Pavela R., Cianfaglione K., Nagy D.U., Canale A., Maggi F. (2019). Evaluation of two invasive plant invaders in Europe (Solidago canadensis and Solidago gigantea) as possible sources of botanical insecticides. Journal of Pest Science, 92, 805-821.

Besançon T.E., Carr B.L., Ayeni A. (2021). Weed control and tigernut response to preemergence herbicides applied at transplanting. HortTechnology, 31(4), 514-523.

Bhat B.A., Islam S.T., Ali A., Sheikh B.A., Tariq L., Islam S.U., Hassan Dar T.U. (2020). Role of micronutrients in secondary metabolism of plants. Plant Micronutrients: Deficiency and Toxicity Management, 311-329.

Bhatt J.R., Singh J.S., Singh S.P., Tripathi R S., Kohli R.K. (2011). Invasive alien plants an ecological appraisal for the Indian subcontinent (1). Cabi.

Bitomský M., Harris T. Klimešová J. (2024). Tissue elements in co-occurring herbs scale mostly isometrically, but do different plant strategies play the same game?. Plant Soil 501, 629–642.

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.

Bondonno N.P., Lewis J.R., Blekkenhorst L.C., Bondonno C.P., Shin J.H., Croft K.D., Woodman R.J., Wong G., Lim W.H., Gopinath B., Flood V.M., Russell J., Mitchel P., Hodgson J.M. (2020). Association of flavonoids and flavonoid-rich foods with all-cause mortality: The Blue Mountains Eye Study. Clinical nutrition, 39(1), 141-150.

Bonnier G. (1962). Flore comléete illustrée en Couleurs de France, Suisse et Belgique, Paris, Neuchatel et Bruxelles. 1 – 12.

Booy O., Robertson P.A., Moore N., Ward J., Roy H.E., Adriaens T., ... Mill A.C. (2020). Using structured eradication feasibility assessment to prioritize the management of new and emerging invasive alien species in Europe. Global Change Biology, 26(11), 6235-6250.

Borah A.J., Singh S., Goyal A., Moholkar V.S. (2016). An assessment of the potential of invasive weeds as multiple feedstocks for biofuel production. RSC advances, 6(52), 47151-47163.

Borowski P.F. (2022). Management of Energy Enterprises in Zero-Emission Conditions: Bamboo as an Innovative Biomass for the Production of Green Energy by Power Plants. Energies, 15(5):1928.

Boršić I., Milović M., Dujmović I., Bogdanović S., Cigić P., Rešetnik I., Nikolić T., Mitić B. (2008): Preliminary check-list of invasive alien plant species (IAS) in Croatia. Natura Croatica 17: 55-71.

Bostrom D., Skoglund N., Grimm A., Boman C., Ohman M., Brostrom M., Backman R. (2012). Ash transformation chemistry during combustion of biomass. Energy & Fuels, 26(1), 85-93.

Bowers L.W., Lineberger C.G., Ford N.A., Rossi E.L., Punjala A., Camp K.K., Kimler B.K., Fabian C.J., Hursting S.D. (2019). The flaxseed lignan secoisolariciresinol diglucoside decreases local inflammation, suppresses NFκB signaling, and inhibits mammary tumor growth. Breast cancer research and treatment, 173, 545-557.

Bradley B. A., Blumenthal D. M., Wilcove D. S., Ziska L. H. (2010). Predicting plant invasions in an era of global change. Trends in Ecology & Evolution, 25(5), 310-318.

Brantley S.T., Young D.R. (2010). Linking light attenuation, sunflecks, and canopy architecture in mesic shrub thickets. Plant Ecology, 206, 225-236.

Brebu M., Vasile C. (2010). Thermal degradation of lignin—a review. Cellulose Chemistry & Technology, 44(9), 353.

Brestic M., Allakhverdiev S.I. (2022). Photosynthesis under biotic and abiotic environmental stress. Cells, 11(24), 3953.

Brodin M., Vallejos M., Opedal M.T., Area M.C., Chinga-Carrasco G. (2017). Lignocellulosics as sustainable resources for production of bioplastics–A review. Journal of Cleaner Production, 162, 646-664.

Bucher S.F., Auerswald K., Grün-Wenzel C., Higgins S.I., Römermann C. (2021). Abiotic site conditions affect photosynthesis rates by changing leaf functional traits. Basic and Applied Ecology, 57, 54-64.

Bürki H.M., Lawrie J., Greaves M. et al. (2001). Biocontrol of Amaranthus spp. in Europe: state of the art. BioControl 46, 197–210.

Carocho M., Ferreira I.C.F.R. (2013). The role of phenolic compounds in the fight against cancer–a review. Anti-Cancer Agents in Medicinal Chemistry (Formerly Current Medicinal Chemistry-Anti-Cancer Agents), 13(8), 1236-1258.

Carvalho A., Rabaçal M., Costa M., Alzueta M.U., Abián M. (2017). Effects of potassium and calcium on the early stages of combustion of single biomass particles. Fuel, 209, 787-794.

Cataldo M.F., Marcu M.V., Iordache E. i sur. (2022). Performance of Forwarding Operations in Biomass Recovery from Apple Orchards. Small-scale Forestry 21, 349–367.

Cazarin C.B.B., Bicas J.L., Pastore G.M., Junior M.R.M. (Eds.). (2021). Bioactive food components activity in mechanistic approach. Academic Press.

CBD. (2010). Global Biodiversity Outlook 3. Secretariat of the CBD, Montreal, Canada. http://www.cbd.int/doc/publications/gbo/gbo3-final-en.pdf [Pristupljeno: 17.09.2024.]

Ceballos G., Ehrlich P.R., Barnosky A.D., García A., Pringle R.M., Palmer T.M. (2015). Accelerated modern human induced species losses: Entering the sixth mass extinction. Sci. Adv.,1.

Ceriani A., Dalle Fratte M., Agosto G., Beatrice P., Reguzzoni M., Bettucci L., Casini D., Cerabolini B.E.L, Montagnoli, A. (2024). Woody and herbaceous invasive alien plant species-derived biochars are potentially optimal for soil amendment, soil remediation, and carbon storage. GCB Bioenergy, 16(2), e13117.

Ceriani A., Dalle Fratte M., Agosto G., Montagnoli A., Cerabolini B. (2023). Using Plant Functional Traits to Define the Biomass Energy Potential of Invasive Alien Plant Species. Plants. 12(18):3198.

Cesarino I. (2019). Structural features and regulation of lignin deposited upon biotic and abiotic stresses. Current opinion in biotechnology, 56, 209-214.

Chadha A., Florentine S., Javaid M., Welgama A., Turville C. (2020). Influence of elements of climate change on the growth and fecundity of Datura stramonium. Environmental Science and Pollution Research, 27, 35859-35869.

Chen C., Luo Z., Yu C. (2019). Release and transformation mechanisms of trace elements during biomass combustion. Journal of hazardous materials, 380, 120857.

Chen G., Kang S., Zhao K., Zheng A., Zhao Z. (2022). Screening of Potential Additives for Alleviating Slagging and Fouling during MSW Incineration: Thermodynamic Analysis and Experimental Evaluation. Atmosphere, 13(8):1163.

Chen W.H. (2015). Torrefaction. In Pretreatment of biomass (173-192). Elsevier.

Chen X.W., Shao L., Song L.Y., Chen Y.J., Peng C.L., Zhang Q. (2013). Amaranthine plays an important role in photoprotection for Alternanthera sessilis under photooxidative stress.Biotechnology & Biotechnological Equipment, 27(3), 3791-3797.

Cheynier V., Comte G., Davies K.M., Lattanzio V., Martens S. (2013). Plant phenolics: Recent advances on their biosynthesis, genetics, andecophysiology. Plant Physiology and Biochemistry, 72, 1-20.

Choo W.S. (2018). Fruit pigment changes during ripening. In Encyclopedia of food chemistry Elsevier, 117-123.

Chu Z., Lu Y., Chang J., Wang M., Jiang H., He J., Peng C., Ge Y. (2011). Leaf respiration/photosynthesis relationship and variation: an investigation of 39 woody and herbaceous species in east subtropical China. Trees, 25, 301-310.

Clauser N.M., González G., Mendieta C.M., Kruyeniski J., Area M.C., Vallejos M.E. (2021). Biomass Waste as Sustainable Raw Material for Energy and Fuels. Sustainability, 13(2):794.

Clemente J.S., Simpson A.J., Simpson M.J. (2011). Association of specific organic matter compounds in size fractions of soils under different environmental controls. Organic Geochemistry, 42(10), 1169-1180.

Compagnoni A., Levin S., Childs D.Z. i sur. (2021). Herbaceous perennial plants with short generation time have stronger responses to climate anomalies than those with longer generation time. Nat Commun 12, 1824.

Cosgrove D. J. (2024). Structure and growth of plant cell walls. Nature Reviews Molecular Cell Biology, 25(5), 340-358.

Cosme P., Rodríguez A.B., Espino J., Garrido M. (2020). Plant phenolics: Bioavailability as a key determinant of their potential health-promoting applications. Antioxidants, 9(12), 1263.

Cui X., Yang J., Wang Z., Shi X. (2021). Better use of bioenergy: A critical review of co-pelletizing for biofuel manufacturing. Carbon Capture Science & Technology, 1, 100005.

Da Silva C.S., Tucker J.J., Maia F.J., Lourenço J.M., Bass M.L., Seidel D.S., Callaway T.R., Hancock D.W., Stewart Jr R.L. (2022). The impact of maturity stages on yield, quality, and nutritive value of ensiled Johnsongrass [Sorghum halepense (L.) Pers]. Translational Animal Science, 6(4).

Dai, W. (Ed.). (2019). Stress Physiology of Woody Plants (1st ed.). CRC Press.

DaMatta F.M., Grandis A., Arenque B.C., Buckeridge M.S. (2010). Impacts of climate changes on crop physiology and food quality. Food Research International, 43(7), 1814-1823.

Dambiec M., Klink A., Polechońska L. (2022). Concentration and translocation of trace metals in Solidago gigantea in urban areas: a potential bioindicator. International Journal of Environmental Science and Technology, 19(12), 11729-11740.

D'Amelia V., Docimo T., Crocoll C., Rigano M.M. (2021). Specialized Metabolites and Valuable Molecules in Crop and Medicinal Plants: The Evolution of Their Use and Strategies for Their Production. Genes (Basel) 18, 12(6):936.

Danso-Boateng E., Achaw O. W. (2022). Bioenergy and biofuel production from biomass using thermochemical conversions technologies—a review. Aims Energy, 10(4), 585-647.

Dar F.A, Pirzadah T.B, Malik B. (2020). Accumulation of heavy metals in medicinal and aromatic plants. Plant Micronutrients: Deficiency and Toxicity Management, 113-127.

Das P.K., Das B.P., Dash P. (2020). Potentials of postharvest rice crop residues as a source of biofuel. In Refining biomass residues for sustainable energy and bioproducts. Academic Press. 275-301.

Dash A.K., Kumar V., Sahoo D., Jha J.M., Tiwari B. (2022). Recent Trends in Biomass Conservation and Management. In Utilization of Waste Biomass in Energy, Environment and Catalysis (217-232). CRC Press.

Davey M.W., Van Montagu M., Inzé D., Sanmartin M., Kanellis A., Smirnoff N., … Fletcher J. (2000). Plant L-ascorbic acid: chemistry, function, metabolism, bioavailability and effects of processing. Journal of the Science of Food and Agriculture, 80(7), 825-860.

De Oliveira D.M., Finger-Teixeira A., de Freitas D.L., Barreto G.E., de Lima R.B., Soares A.R., Ferrarese-Filho O., Marchiosi R., Santos, W. D. D. (2017). Phenolic Compounds in Plants: Implications for Bioenergy. In: Buckeridge, M., De Souza, A. (eds) Advances of Basic Science for Second Generation Bioethanol from Sugarcane. Springer, Cham. 39-52.

De Quirós A.R.B., Costa H.S. (2006). Analysis of carotenoids in vegetable and plasma samples: A review. Journal of Food Composition and Analysis, 19(2-3), 97-111.

Demirbas A. (2002). Relationships between heating value and lignin, moisture, ash and extractive contents of biomass fuels. Energy exploration & exploitation, 20(1), 105-111.

Demirbas A. (2004). Combustion characteristics of different biomass fuels. 30(2), 219–230.

Deng W., Feng Y., Fu J., Guo H., Guo Y., Han B., Jiang Z., Kong L., Li C., Liu H., Nguyen P.T.T., Ren P., Wang F., Wang S., Wang Y., Wang Y., Wong S.S., Yan K., Yan N.,

Yang X., Zhang Y., Zhang Z., Zeng X., Zhou H. (2023). Catalytic conversion of lignocellulosic biomass into chemicals and fuels. Green Energy & Environment, 8(1), 10-114.

DHMZ. (2024). Državni hidrometeorološki zavod. < http://www.dhmz.htnet.hr/>. [1.7.2024.]

Díaz-Torres R.D.C., Alonso-Castro A.J., Carrillo-Inungaray M.L., Carranza-Alvarez C. (2021). Bioactive compounds obtained from plants, their pharmacological applications and encapsulation. In Phytomedicine (181-205). Academic Press.

DiTomaso J.M., Masters R.A., Peterson V.F. (2010). Rangeland Invasive Plant Management.

DiTommaso A., Mohler C.L., Westbrook A.S. (2022). Response of hairy galinsoga (Galinsoga quadriradiata) to nitrogen, phosphorus, and competition from lettuce. Weed Science, 70(5), 579-586.

Dobrović I., Boršić I., Milović M., Bogdanović S., Cigić P., Rešetnik I., Nikolić T., Mitić B. (2006). Invazivne vrste u Hrvatskoj-preliminarni izvještaj. 9th Croatian Biological Congress with International Participation. Zagreb: Hrvatsko biološko društvo. 146-147.

Domac R. (1994). Flora Hrvatske: priručnik za određivanje bilja. Školska knjiga, Zagreb.

Dorbić B., Vučemilović Alegić B., Friganović E., Pamuković A., Temim E., Hadžiabulić A. (2017). Biološke, ekološke i krajobrazne karakteristike bagrema (Robinia pseudoacacia L.) s primjenom na zelenim površinama grada Knina. Polmologica Croatica 21(3-4)

Dorez G., Ferry L., Sonnier R., Taguet A., Lopez-Cuesta J.-M. (2014). Effect of cellulose, hemicellulose and lignin contents on pyrolysis and combustion of natural fibers. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 107, 323–331.

Drouin G., Godin J.R., Pagé B. (2011). The genetics of vitamin C loss in vertebrates. Current genomics, 12(5), 371-378.

Dujmović Purgar D. (2006). Korovna flora Plešivičkog prigorja. Magistarski rad.

Dujmović Purgar D. (2010). Korovna flora vrtova Plešivičkog prigorja (SZ Hrvatska), Agronomski glasnik, 72 (2 – 3): 111-124.

Duncan C.A., Jachetta J.J., Brown M.L., Carrithers V.F., Clark J.K., DiTomaso J.M., Lym R.G., McDaniel K.C., Renz M.J., Rice P.M. (2014). Assessing the Economic, Environmental, and Societal Losses from Invasive Plants on Rangeland and Wildlands. Weed Technology, 18(sp1):1411-1416.

Dunnett A.J., Shah N. (2007). Prospects for bioenergy. J. Biobased Mater. Bioenergy 1, 1–18.

Dytham C. (2011). Choosing and using statistics: a biologist's guide. John Wiley & Sons.

EK. (2022). Posljedice klimatskih promjena. https://climate.ec.europa.eu/climate-change/consequences-climate-change_hr [pristupljeno 27.01.2023]

El Bari H., Fanezoune C.K., Dorneanu B., Arellano-Garcia H., Majozi T., Elhenawy Y., Bayssi O., Hirt A., Peixinho J., Dhahak A., Gadalla M.A., Khashaba N.H., Ashour F. (2024). Catalytic Fast Pyrolysis of Lignocellulosic Biomass: Recent Advances and Comprehensive Overview. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 106390.

Elbersen W., Lammens T.M., Alakangas E.A., Annevelink B., Harmsen P., Elbersen B. (2017). Lignocellulosic biomass quality: Matching characteristics with biomass conversion requirements. In Modeling and Optimization of Biomass Supply Chains. Academic Press. 55-78.

ElGamal R., Song C., Rayan A.M., Liu C., Al-Rejaie S., ElMasry G. (2023). Thermal Degradation of Bioactive Compounds during Drying Process of Horticultural and Agronomic Products: A Comprehensive Overview. Agronomy, 13(6):1580.

Erb M., Kliebenstein D.J. (2020). Plant secondary metabolites as defenses, regulators, and primary metabolites: the blurred functional trichotomy. Plant physiology, 184(1), 39-52.

ESRI. 2021. ArcGIS Pro 2.8.1.: Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute;

Esteves B., Sen U., Pereira H. (2023). Influence of chemical composition on heating value of biomass: A review and bibliometric analysis. Energies,16(10), 4226.

Ethridge S.R., Chandra S., Locke A.M., Everman W.J., Jordan D.L., Owen M.D., Leon, R.G. (2023). Changes in the herbicide sensitivity and competitive ability of Abutilon theophrasti over 28 years: Implications for hormesis and weed evolution. Pest Management Science, 79(10), 4048-4056.

Etim A.O., Jisieike C.F., Ibrahim T.H., Betiku E. (2022). Biodiesel and its properties. In Production of Biodiesel from Non-Edible Sources. Elsevier. 39-79.

Farooq M., Hussain M., Wahid A., Siddique K.H.M. (2012). Drought stress in plants: an overview. Plant responses to drought stress: From morphological to molecular features, 1-33.

Fathi A. (2022). Role of nitrogen (N) in plant growth, photosynthesis pigments, and N use efficiency: a. Agrisost, 28, 1-8.

Fenech M., Amaya I., Valpuesta V., Botella M.A. (2019). Vitamin C content in fruits: Biosynthesis and regulation. Frontiers in plant science, 9.

Feng Q., Wang B., Chen M., Wu P., Lee X., Xing Y. (2021). Invasive plants as potential sustainable feedstocks for biochar production and multiple applications: A review, Resources, Conservation and Recycling, Volume 164, 105204.

Flory S.L., Clay K. (2009). Invasive plant removal method determines native plant community responses. Journal of Applied Ecology, 46: 434-442.

Flory S.L., Lockwood J.L. (2020). Advancing Toward a General Theory of Invasive Species Impacts: How Do Ecological Effects Vary Across Time and Space? The Bulletin of the Ecological Society of America.

Forrester M.B. (2006). Jimsonweed (Datura stramonium) exposures in Texas, 1998–2004. Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A, 69(19), 1757-1762

Gaire B.P., Subedi L. (2013). A review on the pharmacological and toxicological aspects of Datura stramonium L. JIntegr Med. 11(2): 73-79.

Galanakis C.M. (2017). Nutraceutical and Functional Food Components: Effects of Innovative Processing Techniques. In Nutraceutical and Functional Food Components: Effects of Innovative Processing Techniques, Academic Press: Cambridge, MA, USA, 2017, 1–14.

García R., Pizarro C., Álvarez A., Lavín A.G., Bueno J.L. (2015). Study of biomass combustion wastes. Fuel, 148, 152-159.

Garcke A. (1972). Illustrierte Flora von Deutschland und angrenzenden Gebieten, Kriptogamen und Blütenpflanzen. Verlag Paul Parey. Berlin— Hamburg

Gedi M.A., Briars R., Yuseli F., Zainol N., Darwish R., Salter A.M., Gray D.A. (2017). Component analysis of nutritionally rich chloroplasts: recovery from conventional and unconventional green plant species. Journal of food science and technology, 54, 2746-2757.

Gerendás J., Führs H. (2013). The significance of magnesium for crop quality. Plant Soil, 368, 101–128.

Ghani U. (2020). Polyphenols. In Alpha-Glucosidase Inhibitors. Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 61–100.

Gibert A., Gray E.F., Westoby M., Wright I.J., Falster D.S. (2016). On the link between functional traits and growth rate: meta-analysis shows effects change with plant size, as predicted. Journal of Ecology, 104(5), 1488-1503.

Gilliam F. S. (2007). The Ecological Significance of the Herbaceous Layer in Temperate Forest Ecosystems. BioScience 57, 845–858.

Gioria M., Le Roux J. J., Hirsch H., Moravcová L., Pyšek P. (2019). Characteristics of the soil seed bank of invasive and non-invasive plants in their native and alien distribution range. Biological Invasions.

Gościnna K., Pobereżny J., Wszelaczyńska E., Szulc W., Rutkowska B. (2021). Effects of drying and extraction methods on bioactive properties of plums. Food Control, 122, 107771.

Gramauskas G., Jasinskas A., Kleiza V., Mieldažys R., Blažauskas E., Souček J. (2023). Evaluation of Invasive Herbaceous Plants Utilization for the Production of Pressed Biofuel. Processes, 11(7):2097.

Green C., Byrne K.A. (2004). Biomass: Impact on carbon cycle and greenhouse gas emissions.

Grlić Lj. (2005.): Enciklopedija samoniklog jestivog bilja. Ex. Libris. Rijeka.

Gulías J., Melis R., Scordia D., Cifre J., Testa G., Cosentino S.L., Porqueddu C. (2018). Exploring the potential of wild perennial grasses as a biomass source in semi-arid Mediterranean environments. Italian Journal of Agronomy, 13(2), 103-111.

Gupta G.K., Mondal M.K. (2020). Bioenergy generation from agricultural wastes and enrichment of end products. In Refining biomass residues for sustainable energy and bioproducts. Academic Press. 337-356.

Gurria Albusac P., Gonzalez Hermoso H., Cazzaniga N., Jasinevičius G., Mubareka S., De Laurentiis V., Patinha Caldeira C., Sala S., Ronchetti G., Guillen Garcia J., Ronzon T., M`barek R. (2022). EU Biomass Flows, Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-76-49477-5.

Hamzalıoğlu A., Gökmen V. (2024). Interaction between bioactive carbonyl compounds and asparagine and impact on acrylamide. In Acrylamide in Food (433-455). Academic Press.

Han C., Shao H., Zhou S., Mei Y., Cheng Z., Huang L., Lv G. (2021). Chemical composition and phytotoxicity of essential oil from invasive plant, Ambrosia artemisiifolia L. Ecotoxicology and environmental safety, 211, 111879.

Han X., Zhao Y., Chen Y., Xu J., Jiang C., Wang X., Zhuo R., Lu M-Z., Zhang J. (2022). Lignin biosynthesis and accumulation in response to abiotic stresses in woody plants. Forestry Research, 2(1).

HAOP. (2015). Ekološka mreža Natura 2000. http://www.haop.hr/hr/baze-i-portali/ekoloska-mreza-natura-2000 [Pristupljeno: 18.09.2024.]

Harrison M.M., Tyler A.C., Hellquist C.E., Pagano T. (2017). Phenolic content of invasive and non-invasive emergent wetland plants. Aquat. Bot., 136, 146–154.

Hassan M., Haq S.M., Rasool A., Fatima S., Ashraf A., Zulfajri M., Hanafiah M.M. (2021). Ethnobotanical properties and traditional uses of medicinal plant Abutilon theophrasti Medik. Medicinal and Aromatic Plants: Healthcare and Industrial Applications, 271-285.

Haubrock P.J., Turbelin A.J., Cuthbert R.N., Novoa A., Taylor N.G., Angulo E., Ballesteros-Mejia L., Bodey T.W., Capinha C., Diagne C., Essl F., Golivets M., Kirichenko N., Kourantidou M., Leroy B., Renault D., Verbrugge L., Courchamp F. (2021). Economic costs of invasive alien species across Europe. In: Zenni RD, McDermott S, García-Berthou E, Essl F (Eds) The economic costs of biological invasions around the world. NeoBiota 67: 153-190.

Havlík J., Dlouhý T., Pitel' J. (2022). Drying biomass with a high water content - the influence of the final degree of drying on the sizing of indirect dryers. Processes, 10(4), 739.

Hejda M., Pyšek P., Jarošík V. (2009). Impact of invasive plants on the species richness, diversity and composition of invaded communities. J. Ecol. 97: 393–403

Herceg N. (2013). Okoliš i održivi razvoj. Sveučilište u Mostaru, Mostar. 31 – 532.

Holechek J. L., Geli H. M., Sawalhah M. N., Valdez R. (2022). A global assessment: can renewable energy replace fossil fuels by 2050?. Sustainability, 14(8), 4792.

Holm G. (1954). Chlorophyll mutations in barley. Acta Agric. Scand. , 4, 457–471.

Holtmeyer M.L., Li G., Kumfer B.M., Li S., Axelbaum R.L. (2013). The impact of biomass cofiring on volatile flame length. Energy & fuels, 27(12), 7762-7771.

Horvat G., Franjić J. (2016). Invazivne biljke kalničkih šuma. Šumarski list, 1–2. 53–64

HRN EN 14918:2010; Solid Biofuels—Determination of Calorific Value. HZN: Zagreb, Croatia, 2010.

HRN EN ISO 16948:2015; Solid Biofuels—Determination of Total Content of Carbon, Hydrogen and Nitrogen. HZN: Zagreb, Croatia, 2015.

HRN EN ISO 16967:2015; Solid Biofuels—Determination of Major Elements—Al, Ca, Fe, Mg, P, K, Si, Na and Ti. HZN: Zagreb, Croatia, 2015.

HRN EN ISO 16968:2015; Solid Biofuels—Determination of Minor Elements. HZN: Zagreb, Croatia, 2015.

HRN EN ISO 16994:2016; Solid Biofuels—Determination of Total Content of Sulfur and Chlorine. HZN: Zagreb, Croatia, 2016.

HRN EN ISO 18122:2015; Solid Biofuels—Determination of Ash Content. HZN: Zagreb, Croatia, 2015.

HRN EN ISO 18123:2015; Solid Biofuels—Determination of the Content of Volatile Matter. HZN: Zagreb, Croatia, 2015.

HRN EN ISO 18134-2:2017; Solid Biofuels—Determination of Moisture Content—Oven Dry Method—Part 2: Total Moisture—Simplified Method. HZN: Zagreb, Croatia, 2017.

Hrvatski sabor. (2019). Zakon o sprječavanju unošenja i širenja stranih te invazivnih stranih vrsta i upravljanju njima. (NN 15/18, 14/19)

Huang C., Han L., Yang Z., Liu X. (2009). Ultimate analysis and heating value prediction of straw by near infrared spectroscopy. Waste Manag. 29, 1793–1797.

Huang W., Chen L. (2022). Fabrication of protein nanomaterials as delivery systems. In Advances in Food and Nutrition Research (Vol. 101, 237-275). Academic Press.

Huber G.W., Brown R.C. (2017). Prospects and challenges of pyrolysis technologies for biomass conversion. Energy Technol. 5, 5–6.

Hulina, N. (1998). Korovi. Školska Knjiga, Zagreb, Croatia, 9–41.

Hulme P.E (2009). Trade, transport and trouble: managing invasive species pathways in an era of globalization. Journal of Applied Ecology 46(1), 10–18.

Hulme P.E. (2016). Climate change and biological invasions: evidence, expectations, and response options. Biological Reviews, 92, 1297–1313.

Impollonia G., Croci M., Martani E., Ferrarini A., Kam J., Trindade L.M., Clifton-Brown J., Amaducci S. (2022). Moisture content estimation and senescence phenotyping of novel Miscanthus hybrids combining UAV-based remote sensing and machine learning. GCB Bioenergy, 14(6), 639-656.

IPBES. (2019). Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. IPBES secretariat, Bonn, Germany. Ch 1-4.

Iqbal A., Badshah S.L., Alves, J.L.F. (2022). An insight into the thermokinetics of the pyrolysis of invasive grass Sorghum halepense towards its bioenergy potential. Biomass Convers Biorefinery.

Iram U., Naaz S., Fatima N., Margaret E., Rao,V. V. (2020). Effect of sumac on DNA: An advanced study. Recent Prog. Microbiol. Biotechnol, 167.

Isah T. (2019). Stress and defense responses in plant secondary metabolites production. Biol. Res., 52.

Ivakov A., Flis A., Apelt F., Fünfgeld M., Scherer U., Stitt M., Kragler F., Vissenberg K., Persson S., Suslov D. (2017). Cellulose Synthesis and Cell Expansion Are Regulated by Different Mechanisms in Growing Arabidopsis Hypocotyls. Plant Cell., 29(6):1305-1315.

Jaffe D.A. (2003). Encyclopedia of Atmospheric Sciences. Biogeochemical Cycles. Nitrogen Cycle. 205–213.

Jakobs G., Weber E., Edwards P.J. (2004). Introduced plants of the invasive Solidago gigantea (Asteraceae) are larger and grow denser than conspecifics in the native range. Diversity and Distributions, 10(1), 11-19.

James A.K., Thring R.W., Helle S., Ghuman H.S. (2012). Ash Management Review—Applications of Biomass Bottom Ash. Energies, 5, 3856-3873.

Janeeshma E., Singh G., Puthur J.T. (2022). Microbial Mediated Waste Management and Bioenergy Production. In Utilization of Waste Biomass in Energy, Environment and Catalysis (177-198). CRC Press.

Janmohammadi M., Sabaghnia N. (2023). Strategies to alleviate the unusual effects of climate change on crop production: a thirsty and warm future, low crop quality. A review. Biologija, 69(2).

Jatav H.S., Sharma D.L., Sadhukhan R., Singh S.K, Singh S., Rajput V.D, Parihar M., Jatav S.S., Jinger D., Kumar S., Sukirtee. (2020). An overview of micronutrients: prospects and implication in crop production. Plant micronutrients: deficiency and toxicity management, 1-30.

Javorka S., Csapody V. (1934). A magyar flóra Képekben (Iconographia Florae Hungaricae). "Studium", Budapest.

Jenkins B., Baxter L.L., Miles Jr T.R., Miles T.R. (1998). Combustion properties of biomass. Fuel processing technology, 54(1-3), 17-46.

Jia Y., Li Z., Wang Y., Wang X., Lou C., Xiao B., Lim M. (2021). Visualization of Combustion Phases of Biomass Particles: Effects of Fuel Properties. ACS Omega, 12, 6(42):27702-27710.

JU Park Prirode Žumberak-Samoborsko Gorje. (2014). Izvješće o ostvarivanju godišnjeg programa zaštite, održavanja, promicanja i korištenja Parka Prirode "Žumberak – Samoborsko Gorje" u 2013. godini. Slani Dol, Hrvatska.

Kabe T., Ishihara A., Qian E.W., Sutrisna I.P., Kabe Y. (2004). Methods of classification and characterization of coal. Studies in surface science and catalysis, 150, 1-79.

Kabuce N., Priede N. (2010). NOBANIS–Invasive Alien Species Fact Sheet–Galinsoga quadriradiata. Online Database of the European Network on Invasive Alien Species–NOBANIS NOBANIS.

Kaczmarczyk R., Gurgul S. (2024). Thermodynamic Analysis of Chloride Corrosion in Steel for Energy System Applications in Fe-O-Cl-Na Environments. Energies, 17(13):3223.

Kadetov N.G., Urbanavichute S.P. (2022). Invasive plant species on fire-damaged areas in the kerzhensky reserve during the first twelve years after catastrophic fires. Proceedings of the Mordovian State Nature Reserve named after P.G. Smidovich, (31), 163-172.

Kamal Baharin N.S., Koesoemadinata V.C., Nakamura S., Yahya W.J., Yuzir M.A.M., Akhir F.N.M., Iwamoto K., Othman N., Ida T., Hara H. (2020). Conversion and characterization of Bio-Coke from abundant biomass waste in Malaysia. Renewable energy, 162, 1017-1025.

Kang C., Huang Y., Yang H., Yan X.F., Chen Z.P. (2020). A review of carbon dots produced from biomass wastes. Nanomaterials, 10(11), 2316.

Kärenlampi S. O., White P. J. (2009). Potato proteins, lipids, and minerals. In Advances in potato chemistry and technology. Academic Press. 99-125.

Kasote D.M., Katyare S.S., Hegde M.V., Bae H. (2015). Significance of Antioxidant Potential of Plants and its Relevance to Therapeutic Applications. Int. J. Biol. Sci., 11 (8), 982–991.

Kauter D., Lewandowski I., Claupein W. (2003). Quantity and quality of harvestable biomass from Populus short rotation coppice for solid fuel use - a review of the physiological basis and management influences. Biomass and Bioenergy 24 (6): 411-427.

Keble Martin W. (1972). The Concise British flora in colour. Book Club Associates, London.

Keller R.P., Geist J., Jeschke J.M., Kühn I. (2011). Invasive species in Europe: ecology, status, and policy. Environ Sci Eur 23, 23.

Kenney K.L., Smith W.A., Gresham G.L., Westover T.L. (2013). Understanding biomass feedstock variability. Biofuels, 4(1), 111–127.

Kew (2024). First digital resource for the world's flora: Plants of the World Online (POWO). Dostupno: https://powo.science.kew.org [Pristupljeno 28.06.2024]

Khan N., Jamila N., Amin F., Masood R., Atlas A., Khan W., Ain N.U., Khan S.N. (2021). Quantification of macro, micro and trace elements, and antimicrobial activity of medicinal herbs and their products. Arabian Journal of Chemistry, 14(4), 103055.

Khare S., Singh N.B., Singh A., Hussain I., Niharika K., Yadav V., Bano C., Yadav R.K., Amist N. (2020). Plant secondary metabolites synthesis and their regulations under biotic and abiotic constraints. J Plant Biol.

Khayal A.Y., Ullah I., Nughman M., Shah S.M., Ali N. (2019). 82. Elemental, antimicrobial and antioxidant activities of a medicinal plant Sorghum halepense. Pure and Applied Biology (PAB), 8(1), 795-803.

Khussainov A.T., Shulembayeva K.M., Durmekbayeva S.N., Fakhrudenova I.B., Khussainova R.K., Kakabayev A.A. (2024). The Vascular Plant Flora Burabay National Park, Kazakhstan: Composition, Life Form Classification and Ecological Groups. Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences, 1-9.

Kiang Y.-H. (2018). Introduction. Fuel Property Estimation and Combustion Process Characterization, Editor(s): Yen-Hsiung Kiang, In: Fuel Property Estimation and Combustion Process Characterization 1–10.

Knežević M. (2006). Atlas korovne, ruderalne i travnjačke flore. Poljoprivredni fakultet, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera, Osijek.

Kojić M. (1986). Mala korovska flora, priručnik za određivanje korovskih i ruderalnih biljaka. Naučna knjiga, Beograd.

Kopchak N.H., Lisovska T.O, Pokotylo O.S., Vichko O.I. (2021). Biochemistry (Structural biochemistry): tutorial for foreign students. Ternopil: TNTU Ivan Puluj, Ukrajina, 5-117.Dostupno na: https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/35907 [Pristupljeno:19.09.2024.]

Koppejan J., Schmidl C. (2022). Nitrogen flows in biomass combustion systems: A parametric scoping study aimed at optimising nitrogen flows in biomass combustion. IEA Bioenergy. 1-17. Dostupno: https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2023/02/Task32_Nitrogencycle_I_final.pdf [Pristupljeno: 19.09.2024]

Korga-Plewko A., Zgórka G., Józefczyk A., Grzegorczyk A., Biernasiuk A., Boguszewska A., Rajtar B., Świątek Ł., Polz-Dacewicz M., Kołodziej P., Zalewski D., Bogucka-Kocka A., Iwan M., Dudka J., Rój E., Tyśkiewicz K., Olba-Zięty E., Krzyżaniak M., Jerzy Stolarski M., Malm A. (2022). Phytochemical profiling and biological activity of the extracts obtained from green biomass of three Miscanthus L. species using supercritical carbon dioxide extraction. Industrial Crops and Products, 189, 115641.

Kortelainen M., Jokiniemi J., Nuutinen I., Torvela T., Lamberg H., Karhunen T., Tissari J., Sippula O. (2015). Ash behaviour and emission formation in a small-scale reciprocating-grate combustion reactor operated with wood chips, reed canary grass and barley straw. Fuel, 143, 80–88.

Kovačević J. (1976). Korovi u poljoprivredi. Nakladni zavod Znanje. Zagreb.

Kovačić A., Janev Hutinec B. (2015). Invazivne strane vrste u zaštićenim područjima Grada Zagreba, Javna ustanova - Maksimir za upravljanje zaštićenim područjima Grada Zagreba.

Kovačić S., Nikolić T., Ruščić M., Milović M., Stamenković V., Mihelj D., Jasprica N., Bogdanović S., Topić J. (2008). Flora jadranske obale i otoka, 250 najčešćih vrsta, PMF. Školska knjiga, Zagreb.

Kowalczyk S., Grymel M., Bilik J., Kula W., Wawoczny A., Grymel P., Gillner D. (2024). Selected Plants as Sources of Natural and Active Ingredients for Cosmetics of the Future. Applied Sciences. 14(8):3487.

Kowarik I., Lippe M. V. (2007). Pathways in plant invasions. Biological invasions, 29-47.

Kramer P.J., Boyer J.S. (1995). Water Relations of Plants and Soils. Academic Press.

Kudryavtseva E.I., Vinogradova Y.K., Viting K.B., Kozyreva A.M., Nefedova A.D., Petrash E.G., Stukalov A.S., Sheynova A.D., Reshetnikova N.M. (2020). The settlement of Erigeron annuus (L.) Pers. and analysis of the reasons for reproductive success. Russian Journal of Biological Invasions, 11(3), 225-237.

Kumar K., Debnath P., Singh S., Kumar N. (2023). An Overview of Plant Phenolics and Their Involvement in Abiotic Stress Tolerance. Stresses, 3(3):570-585.

Kumar Rai P. (2022). Environmental Degradation by Invasive Alien Plants in the Anthropocene: Challenges and Prospects for Sustainable Restoration. Anthr. Sci. 1, 5–28.

Kumar Rai P., Kim K.H. (2019). Invasive alien plants and environmental remediation: A new paradigm in sustainable restoration ecology. Restoration Ecology.

Kumar Rai P., Singh J.S. (2020) Invasive alien plant species: Their impact on environment, ecosystem services and human health. Ecol Indic. 111:106020.

Kumar V., Brainard D.C., Bellinder R.R. (2009). Effects of spring-sown cover crops on establishment and growth of hairy galinsoga (Galinsoga ciliata) and four vegetable crops. HortScience, 44(3), 730-736.

Kumari K., Singh A., Marathe D., Pariyar, P. (2021). Agricultural biomass as value chain developers in different sectors. In Advanced Technology for the Conversion of Waste into Fuels and Chemicals. Woodhead Publishing. 467-509

Kutnar L., Marinšek A., Kus V.J., Jurc D., Ogris N., Kavčič A., De Groot M., Flajšman K., Veenvliet P. (2020). Terenski priročnik za prepoznavanje tujerodnih vrst v gozdovih [na spletu]. 2020. Ljubljana : Silva Slovenica, Gozdarski inštitut Slovenije. Dostupno na: https://dirros.openscience.si/IzpisGradiva.php?lang=slv&id=14125.[Pristupljeno: 03.07.2024].

Lai J., Wang H., Wang D., Fang F., Wang F., Wu T. (2014). Ultrasonic Extraction of Antioxidants from Chinese Sumac (Rhus typhina L.) Fruit Using Response Surface Methodology and Their Characterization. Molecules, 19, 9019-9032.

Lanjekar P.R., Panwar N.L., Agrawal C. (2023). A comprehensive review on hydrogen production through thermochemical conversion of biomass for energy security. Bioresource Technology Reports, 21, 101293.

Łapczyńska-Kordon B., Ślipek Z., Słomka-Polonis K., Styks J., Hebda T., Francik S. (2022). Physicochemical properties of biochar produced from goldenrod plants. Materials, 15(7), 2615.

Lee D. K., Yoon M. H., Kang Y. P., Yu J., Park J. H., Lee J., Kwon S. W. (2013). Comparison of primary and secondary metabolites for suitability to discriminate the origins of Schisandra chinensis by GC/MS and LC/MS. Food chemistry, 141(4), 3931-3937.

Lee J., Kim S., You S., Park Y.K. (2023). Bioenergy generation from thermochemical conversion of lignocellulosic biomass-based integrated renewable energy systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 178, 113240.

Lemke A., Buchholz S., Kowarik I., Starfinger U., von der Lippe M. (2021). Interaction of traffic intensity and habitat features shape invasion dynamics of an invasive alien species (Ambrosia artemisiifolia) in a regional road network. NeoBiota 64: 155–175.

Li H., Liang Y., Li P., He C. (2020b). Conversion of biomass lignin to high-value polyurethane: A review. Journal of Bioresources and Bioproducts, 5(3), 163-179.

Li L., Liu G., Li Y., Zhu Z., Xu H., Chen J., Ren X. (2020a). Release of Sulfur and Nitrogen during Co-pyrolysis of Coal and Biomass under Inert Atmosphere. ACS Omega, 13, 5(46):30001-30010.

Li W., Lin Y.C.J., Chen Y.L., Zhou C., Li S., De Ridder N., Oliveira D.M., Demura T., Lu M-Z., Zhou Y., Li L., Umezawa T., Boerjan W., Chiang V.L. (2024). Woody plant cell walls: Fundamentals and utilization. Molecular Plant, 17(1), 112-140.

Li X., Yang M., Han Y.F., Gao K. (2005). New sesquiterpenes from Erigeron annus. Planta medica, 71(03), 268-272.

Li Y., Lu L., Lyu S., Xu H., Ren X., Levendis Y.A. (2021). Activated coke preparation by physical activation of coal and biomass co-carbonized chars. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 156, 105137.

Liu H., Wang H., Li N. i sur. (2022). Phenological mismatches between above- and belowground plant responses to climate warming. Nat. Clim. Chang. 12, 97–102.

Liu S., Ali S., Yang R., Tao J., Ren B. (2019). A newly discovered Cd-hyperaccumulator Lantana camara L. Journal of Hazardous Materials, 371, 233–242.

Liu W., Liu C., Gogoi P., Deng Y. (2020). Overview of biomass conversion to electricity and hydrogen and recent developments in low-temperature electrochemical approaches. Engineering, 6(12), 1351-1363.

Liu Z., Wang S., Ouyang Y. (2017). Reliable Biomass Supply Chain Design under Feedstock Seasonality and Probabilistic Facility Disruptions. Energies, 10(11):1895.

Locato V., Cimini S., Gara L.D. (2013). Strategies to increase vitamin C in plants: from plant defense perspective to food biofortification. Frontiers in plant science, 4, 152.

Lorenzo P., Hussain M. I., González L. (2012). Role of Allelopathy During Invasion Process by Alien Invasive Plants in Terrestrial Ecosystems. Allelopathy, 3–21.

Lourenço S.C., Moldão-Martins M., Alves V.D. (2019). Antioxidants of natural plant origins: From sources to food industry applications. Molecules, 24(22), 4132.

Luís Â., Gil N., Amaral M.E., Domingues F., Duarte A.P.C. (2012). Ailanthus altissima (Miller) Swingle: A source of bioactive compounds with antioxidant activity. BioResources,7(2), 2105-2120.

Lunguleasa A., Spirchez C., Zeleniuc O. (2020). Evaluation of the calorific values of wastes from some tropical wood species. Maderas. Ciencia y tecnología, 22(3), 269-280.

Lv D., Xu M., Liu X., Zhan Z., Li Z., Yao H. (2010). Effect of cellulose, lignin, alkali and alkaline earth metallic species on biomass pyrolysis and gasification. Fuel Processing Technology, 91(8), 903-909.

Ma S., He F., Tian D., Zou D., Yan Z., Yang Y., Zhou T., Huang K., Shen H., Fang J. (2018). Variations and determinants of carbon content in plants: a global synthesis, Biogeosciences, 15, 693 - 702.

Machmudah S., Kanda H., Goto M. (2017). Hydrolysis of biopolymers in near-critical and subcritical water. In Water extraction of bioactive compounds (69-107). Elsevier.

Malik A., Preety R. (2018). Secondary Metabolites: Plant's Weapon for Struggle. Research Trends in Medicinal Plant Sciences. 3, 13-39. Dostupno na: https://www.researchgate.net/profile/Noor-Ahmed-18/publication/330221058_Scientific_Basis_of_Some_Common_Medicinal_Plants_used_in_Unani_Medicine_A_Rational_Approach/links/62d45f37fd347a451bc5dbd2/Scientific-Basis-of-Some-Common-Medicinal-Plants-used-in-U [Pristupljeno: 19.07.24]

Malik J.A., Bhadauria M., Lone R., Hajam Y.A. (2020). Exploitation of plant phenolics in animal farming. Plant Phenolics in Sustainable Agriculture: Volume 1, 69-89.

Mandák B., Zákravský P., Dostál P., Plačková I. (2011). Population genetic structure of the noxious weed Amaranthus retroflexus in Central Europe. Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants, 206(8), 697-703.

Manikandan S., Vickram S., Sirohi R., Subbaiya R., Krishnan R.Y., Karmegam N., Sumathijones C., Rajagopal R., Chang S.W., Ravindran B., Awasthi M.K. (2023). Critical review of biochemical pathways to transformation of waste and biomass into bioenergy. Bioresource technology, 372, 128679.

Mann J. (2012). Comparison of yield, calorific value and ash content in woody and herbaceous biomass used for bioenergy production in southern Ontario, Canada (Doctoral dissertation, University of Guelph).

Marksa M., Zymone K., Ivanauskas L., Radušienė J., Pukalskas A., Raudone L. (2020). Antioxidant profiles of leaves and inflorescences of native, invasive and hybrid Solidago species. Ind Crops Prod., 145, 112123.

Marschner H. (Ed.). (2011). Marschner's mineral nutrition of higher plants. Academic press.

McKendry P. (2002a). Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. Bioresour Technol, 83, 37–46.

McKendry, P. (2002b). Energy production from biomass (part 2): conversion technologies. Bioresour technol, 83(1), 47-54.

Meela M.M., Mdee L.K., Masoko P., Eloff J.N. (2019). Acetone leaf extracts of seven invasive weeds have promising activity against eight important plant fungal pathogens. South African journal of botany, 121, 442-446.

Mehta S.D., Upadhyay S., Rai, G. (2022). Importance of flavonoid as secondary metabolites. In Flavonoid Metabolism-Recent Advances and Applications in Crop Breeding. IntechOpen.

Melane M., Ham C., Meincken M. (2017). Characteristics of selected non-woody invasive alien plants in South Africa and an evaluation of their potential for electricity generation. J. energy South. Afr, 28(3).

Menon V., Rao M. (2012). Trends in bioconversion of lignocellulose: biofuels, platform chemicals & biorefinery concept. Progress in energy and combustion science, 38(4), 522-550.

Mierziak J., Kostyn K., Kulma A. (2014). Flavonoids as important molecules of plant interactions with the environment. Molecules, 19(10), 16240-16265.

Mierzwa-Hersztek M., Gondek K., Jewiarz M. et al. (2019). Assessment of energy parameters of biomass and biochars, leachability of heavy metals and phytotoxicity of their ashes. J Mater Cycles Waste Manag 21, 786–800.

Míguez C., Cancela Á., Álvarez X., Sánchez, Á. (2022). The reuse of bio-waste from the invasive species Tradescantia fluminensis as a source of phenolic compounds. Journal of Cleaner Production, 336, 130293.

Miller N.J., Diplock A.T., Rice-Evans C., Davies M.J., Gopinathan V., Milner A. (1993). A novel method for measuring antioxidantcapacity and its application to monitoring the antioxidant status in premature neonates. Clin. Sci., 84, 407–412.

MINGOR. (2020). O invazivnim stranim vrstama. http://www.haop.hr/hr/tematska-podrucja/prirodne-vrijednosti-stanje-i-ocuvanje/ugrozenost-vrsta-i-stanista/strane-vrste/o [Pristupljeno: 17.09.2024.]

Mitić B. (2014). Invazivne biljke. Hrvatska revija.Bilje oko nas, 4. ili Mitić B. (2014) Invazivne biljke. Hrvatska revija 4: 14-17.

Mitić B., Boršić I., Dujmović I., Bogdanović S., Milović M., Cigić P.,Rešetnik I., Nikolić T. (2008). Alien flora of Croatia: proposals for standards in terminology, criteria and related database. Natura Croatica: Periodicum Musei Historiae Naturalis Croatici, Vol. 17 No. 2, 73-90.

Moghaddam M.V., Fallahpour M., Mohammadi M., Varaee F.R., Mokhtarian K., Khoshmirsafa M., Jafari R., Shirzad N., Falak R. (2019). Identification of polcalcin as a novel allergen of Amaranthus retroflexus pollen. Allergologia et Immunopathologia, 47(4), 357-364.

Mohammed F.S., Kına E., Sevindik M., Dogan M., Pehlivan M. (2021). Datura stramonium (Solanaceae): Antioxidant and Antimicrobial Potentials. Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology, 9(4), 818-821.

Montiano M.G., Díaz-Faes E., Barriocanal C., Alvarez R. (2014). Influence of biomass on metallurgical coke quality. Fuel, 116, 175-182.

Moravcová L., Pyšek P., Jarošík V., Pergl J. (2015). Getting the right traits: reproductive and dispersal characteristics predict the invasiveness of herbaceous plant species. PLOS ONE 10(4): e0123634.

Móricz Á.M., Krüzselyi D., Ott P.G., Garádi Z., Béni S., Morlock G.E., Bakonyi J. (2021). Bioactive clerodane diterpenes of giant goldenrod (Solidago gigantea Ait.) root extract. Journal of Chromatography A, 1635, 461727.

Mujtaba M., Fraceto L. F., Fazeli M., Mukherjee S., Savassa S.M., de Medeiros G.A., Pereira A.D.E.S., Mancini S.D., Lipponen J., Vilaplana F. (2023). Lignocellulosic biomass from agricultural waste to the circular economy: A review with focus on biofuels, biocomposites and bioplastics. Journal of Cleaner Production, 402, 136815.

Mukherjee P.K. (2019). Qualitative analysis for evaluation of herbal drugs. Quality Control and Evaluation of Herbal Drugs, 79-149.

Müller A., Weigelt J., Götz A., Schmidt O., Lobos Alva I., Matuschke I., Ehling U., Beringer T. (2015): The Role of Biomass in the Sustainable Development Goals: A Reality Check and Governance Implications. - IASS Working Paper, April 2015.

Nadeem F., Hanif M.A., Majeed M.I., Mushtaq Z. (2018). Role of macronutrients and micronutrients in the growth and development of plants and prevention of deleterious plant diseases - a comprehensive review. International Journal of Chemical and Biochemical Sciences, 13, 31-52.

Nagy D.U., Rauschert E.S., Henn T., Cianfaglione K., Stranczinger S., Pal R.W. (2020). The more we do, the less we gain? Balancing effort and efficacy in managing the Solidago gigantea invasion. Weed Research, 60(3), 232-240.

Nantongo J.S., Odoi J.B., Abigaba G., Gwali S. (2018). Variability of phenolic and alkaloid content in different plant parts of Carissa edulis Vahl and Zanthoxylum chalybeum England. BMC Notes Research. 11, 125.

NASA. (2024). Joint NASA/U.S. Geological Survey invasive species project. (/). The Economic Impact of Invasive Species in the United States – Regional Case Studies. https://www.maine.gov/dacf/php/documents/nisaweconomics.pdf [Pristupljeno: 17.09.2024.]

Neha K., Haider M.R., Pathak A., Yar M.S. (2019). Medicinal prospects of antioxidants: A review. Eur. J. Med. Chem., 178, 687–704.

Nentwig W. (Ed.). (2007). Biological Invasions. Ecological Studies. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.

Neves D., Thunman H., Matos A., Tarelho L., Gómez-Barea A. (2011). Characterization and prediction of biomass pyrolysis products. Prog. Energy Combust. Sci. 37 (5), 611–630.

Nguyen A.Q., Trinh L.T.P. (2022). Thermochemical Conversion of Cellulose and Hemicellulose. In: Nghiem N.P., Kim T.H., Yoo C.G. (eds) Biomass Utilization: Conversion Strategies. Springer, Cham., 107-131.

Nguyen D.T.C., Tran T.V., Kumar P.S., Din A.T.M., Jalil A.A., Vo D.N. (2022). Invasive plants as biosorbents for environmental remediation: a review. Environ Chem Lett 20, 1421–1451.

Nguyen Q.A., Smith W.A., Wahlen B.D., Wendt L.M. (2020). Total and sustainable utilization of biomass resources: A perspective. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, 8, 546.

Niinemets, Ü. (2010). A review of light interception in plant stands from leaf to canopy in different plant functional types and in species with varying shade tolerance. Ecological Research, 25, 693-714.

Nikolić T. (2024). Flora Croatica Database (URL http://hirc.botanic.hr/fcd). Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb.

Nikolić T., Bukovec D., Šopf J., Jelaska S.D. (1998): Kartiranje flore Hrvatske – mogućnosti i standardi. Natura Croatica 7, 1-62.

Nikolić T., Mitić B., Boršić I. (2014). Flora Hrvatske Invazivne biljke. Alfa, Zagreb. 7-45.

NN. (2013). Zakon o zaštiti prirode NN 80/2013. https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013_06_80_1658.html [Pristupljeno: 18.09.2024.]

Nollet L.M., Gutierrez-Uribe J.A. (Eds.). (2018). Phenolic compounds in food: Characterization and analysis. CRC Press.

Novak M. (2018). Alelopatski potencijal invazivne alohtone vrste pajasena (Ailanthus altissima (Mill.) Swingle). Doktorski rad. Zagreb, Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet.

Novak M., Novak N. (2017). Rasprostranjenost invazivne strane vrste pajasena (Ailanthus altissima (Mill.Swingle)) po županijama Republike Hrvatske. Glasilo biljne zaštite, 17 (3), 329-337.

Novak N., Kravarščan M. (2011).Invazivne strane korovne vrste u Republici Hrvatskoj. Hrvatski centar za poljoprivredu, hranu i selo, Zagreb. 6-35.

Novak N., Kravarščan M. (2014). Pajasen (Ailanthus altissima (Mill.Swingle)) – strana izvazivna biljna vrsta u Hrvatskoj. Glasilo biljne zaštite 14 (3), 254-261.

Nunes L.J.R., Raposo M.A.M., Meireles C.I.R., Pinto Gomes C.J., Ribeiro N.M.C.A. (2020). Control of Invasive Forest Species through the Creation of a Value Chain: Acacia dealbata Biomass Recovery Environments, 7 (5), 39.

Nunes L.J.R., Rodrigues A.M., Loureiro L.M.E.F., Sá L.C.R., Matias J.C.O. (2021). Energy Recovery from Invasive Species: Creation of Value Chains to Promote Control and Eradication Recycling, 6 (1), 21.

Núñez-González N., Rodriguez J., González, L. (2021). Managing the invasive plant Carpobrotus edulis: is mechanical control or specialized natural enemy more effective?. Journal of Environmental Management, 298, 113554.

Njoki C. (2017). Spread of invasive species driven by trade and transport. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Laxenburg, Austria. (https://blog.iiasa.ac.at/2017/08/11/spread-of-invasive-species-driven-by-trade-and-transport/) [Pristupljeno: 18.09.2024]

Obydenkova S.V., Kouris P.D., Smeulders D.M., Boot M.D., van der Meer Y. (2022). Evaluation of environmental and economic hotspots and value creation in multi-product lignocellulosic biorefinery. Biomass and Bioenergy, 159, 106394

Ochoa A., Bilbao J., Gayubo A.G., Castaño P. (2020). Coke formation and deactivation during catalytic reforming of biomass and waste pyrolysis products: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 119, 109600.

Okoro N.J.M., Ikegwu U.M., Harding K.G. Daramola M.O. (2022). Evaluation of Fuel Quality of Invasive Alien Plants and Tropical Hardwoods as Potential Feedstock Materials for Pyro-Gasification. Waste Biomass Valorization 13, 1293 – 1310.

Okoro, N. J. M., Ozonoh, M., Harding, K. G., Oboirien, B. O., & Daramola, M. O. (2021). Potentials of torrefied pine sawdust as a renewable source of fuel for pyro-gasification: Nigerian and South African perspective. ACS omega, 6(5), 3508-3516.

Olchowik-Grabarek E., Mavlyanov S., Abdullajanova N. et al. (2017). Specificity of Hydrolysable Tannins from Rhus typhina L. to Oxidants in Cell and Cell-Free Models. Appl Biochem Biotechnol 181, 495–510.

Onen H., Farooq S., Gunal H., Ozaslan C., Erdem H. (2017). Higher Tolerance to Abiotic Stresses and Soil Types May Accelerate Common Ragweed (Ambrosia artemisiifolia) Invasion. Weed Science, 65(1):115-127.

Ough C.S., Amerine M.A. (1988). Methods for Analysis of Musts and Wines, 2nd ed.; John Wiley & Sons: New York, NY, USA.

Ozyigit I.I., Kahraman M.V., Ercan O. (2007). Relation between explant age, total phenols and regeneration response in tissue cultured cotton (Gossypium hirsutum L.). African Journal of Biotechnology, 6(1), 3.

Özyuğuran A., Yaman S. (2017). Prediction of calorific value of biomass from proximate analysis. Energy Procedia, 107, 130-136.

Pal D.B., Singh P. (Eds.). (2022). Utilization of Waste Biomass in Energy, Environment and Catalysis. CRC Press.

Pallardy, S. G. (2010). Physiology of woody plants. Academic press.

Pan Y.X., Xu H., Zhang Y.F., Zhang H.X. (2024). Research progress on the hydraulic structure characteristics of xerophytes. Acta Prataculturae Sinica, 33(8), 190.

Panche A.N., Diwan A.D., Chandra, S.R. (2016). Flavonoids: an overview. Journal of nutritional science, 5, e47.

Pannacci E., Masi M., Farneselli M., Tei F. (2020). Evaluation of Mugwort (Artemisia vulgaris L.) Aqueous Extract as a Potential Bioherbicide to Control Amaranthus retroflexus L. in Maize. Agriculture, 10(12), 642.

Panjković B. (1990). Analiza životnih oblika i flornih elemenata u flori Baranje, Acta Botanica Croatica, 49(1): 107-123.

Pasangulapati V., Ramachandriya K.D., Kumar A., Wilkins M.R., Jones C.L., Huhnke R.L. (2012). Effects of cellulose, hemicellulose and lignin on thermochemical conversion characteristics of the selected biomass. Bioresource technology, 114, 663-669.

Paterson A.H., Kong W., Johnston R.M., Nabukalu P., Wu G., Poehlman W.L., Goff V.H., Isaacs K., Lee T-H., Guo H., Zhang D., Sezen U.U., Kennedy M., Bauer D., Feltus F.A., Weltzien E., Rattunde H.F., Barney J.N., Barry K., Cox T.S., Scanlon M.J. (2020). The evolution of an invasive plant, Sorghum halepense L.(‘Johnsongrass’). Frontiers in genetics, 11, 317.

Paynter Q., Flanagan G.J. (2004). Integrating herbicide and mechanical control treatments with fire and biological control to manage an invasive wetland shrub, Mimosa pigra. Journal of Applied Ecology, 41, 615–629.

Peace, N. (2020). Impact of climate change on insects, pest, diseases and animal biodiversity. International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources, 23(5), 151-153.

Pedireddi U., Sias C., Bagavathiannan M. (2024). Sorghum halepense (L.) Pers. The Integrated Weed Management (IWM) Resource Center, “GROW”. 1-10. Dostupno na: https://growiwm.org/wp-content/uploads/2022/11/Johnsongrass-Nov14.pdf. [Pristupljeno: 19.09.2024.]

Peerzada A.M., Ali H.H., Hanif Z., Bajwa A.A., Kebaso L., Frimpong D., Iqbal N., Namubiru H., Hashim S., Rasool G., Manalil S., Van der Meulen A., Chauhan B.S. (2017).

Eco-biology, impact, and management of Sorghum halepense (L.) Pers. Biological Invasions, 1-19.

Peni D., Stolarski M.J., Dębowski M. (2022). Green biomass quality of perennial herbaceous crops depending on the species, type and level of fertilization. Industrial Crops and Products, 184, 115026.

Pérez-Patricio M., Camas-Anzueto J.L., Sanchez-Alegría A., Aguilar-González A., Gutiérrez-Miceli F., Escobar-Gómez E., Voisin Y., Rios-Rojas C., Grajales-Coutiño R. (2018). Optical Method for Estimating the Chlorophyll Contents in Plant Leaves. Sensors (Basel), 22, 18(2):650.

Peter A., Grubor M., Dujmović Purgar D., Budimir A., Voća N. (2019). Use of Invasive Plant Species Tree of Heaven (Ailanthus Altissima Mill.) Biomass in Energy Production. Proceedings of the 47th International Symposium on Agricultural Engineering. Kovačev, Igor; Bilandžija, Nikola (ur.). Zagreb, Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, 369-378.

Peter A., Šic Žlabur J., Šurić J., Voća S., Dujmović Purgar D., Pezo L., Voća N. (2021). Invasive plant species biomass—Evaluation of functional value. Molecules, 26(13), 3814.

Pham-Huy L.A., He H., Pham-Huy C. (2008). Free radicals, antioxidants in disease and health. International journal of biomedical science: IJBS, 4(2), 89.

Pintó-Marijuan M., Munné-Bosch S. (2013). Ecophysiology of invasive plants: osmotic adjustment and antioxidants. Trends in plant science, 18(12), 660-666.

Polishchuk A.I., Antonyak H.L. (2022). Dynamics of foliar concentrations of photosynthetic pigments in woody and herbaceous plant species in the territory of an industrial city. Stud, 16, 29-40.

Poljuha D., Sladonja B., Šola I., Šenica M., Uzelac M., Veberič R., Hudina M., Famuyide I.B., Eloff J.N., Mikulic-Petkovsek, M. (2022). LC–DAD–MS phenolic characterisation of six invasive plant species in Croatia and determination of their antimicrobial and cytotoxic activity. Plants, 11(5), 596.

Posada J.M., Sievänen R., Messier C., Perttunen J., Nikinmaa E., Lechowicz M.J. (2012). Contributions of leaf photosynthetic capacity, leaf angle and self-shading to the maximization of net photosynthesis in Acer saccharum: a modelling assessment. Annals of botany,110(3), 731-741.

Pozdnyakova Y., Sailau A., Solyanov D., Aitisheva L., Tatina Y., Britko V. (2023). Diversity of early flowering plants of the Ulytau mountains (Central Kazakhstan). Biosystems Diversity, 31(3), 261-268.

Pshegusov R.H., Nazranov K., Chadaeva V.A., Nazranov B. (2020). Erigeron annuus (L.) Pers. invasion in hay and pasture meadows of the Greater Caucasus: modeling of current and foreseeable spatial distribution. In E3S Web of Conferences.

Puri L., Hu Y., Naterer G. (2024). Critical review of the role of ash content and composition in biomass pyrolysis. Frontiers in Fuels, 2, 1378361.

Pušić M., Ljubojević M., Prvulović D., Kolarov R., Tomić M., Simikić M., Vejnović S., Narandžić T. (2024). Bioenergy and Biopesticides Production in Serbia—Could Invasive Alien Species Contribute to Sustainability? Processes. 12(2):407.

Qaderi M.M., Martel A.B., Dixon S.L. (2019). Environmental Factors Influence Plant Vascular System and Water Regulation. Plants, 8(3):65.

QGIS Development Team 2020. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. http://qgis.osgeo.org; Bioportal – MTB64. Dostupno na

http://www.bioportal.hr/. Bioportal – Zaštićena područja - poligoni. Dostupno na http://www.bioportal.hr/. [Pristupljeno: 24.1.2023.]

QGIS Development Team. (2020). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. http://qgis.osgeo.org

Qi J., Li H., Han K., Zuo Q., Gao J., Wang Q., Lu C. (2016). Influence of ammonium dihydrogen phosphate on potassium retention and ash melting characteristics during combustion of biomass. Energy, 102, 244-251

Qi J., Zhao J., Xu Y., Wang Y., Han K. (2018). Segmented heating carbonization of biomass: Yields, property and estimation of heating value of chars. Energy, 144, 301-311.

Rajasekaran A., Salunkhe P., Singh M. (2020). Documentation and status of Invasive alien plant species in India. INVASIVE SPECIES, 1.

Rajendran K. (2017). Effect of Moisture Content on Lignocellulosic Power Generation: Energy, Economic and Environmental Impacts. Processes, 5(4):78.

Rasmussen R.S., Morrissey M.T. (2007). Marine biotechnology for production of food ingredients. Advances in food and nutrition research, 52, 237-292.

Raudone L., Savickiene N. (2024). Phytochemical Profiles of Plant Materials: From Extracts to Added-Value Ingredients. Plants. 13(7):964.

Rawat Y.S., Singh G.S., Tekleyohannes A.T. (2024). Impacts of invasive plant management on forest biodiversity and ecosystem services. Frontiers in Forests and Global Change, 7, 1403746.

Re R., Pellegrini N., Proteggente A., Pannala A., Yang M., Rice-Evans C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. Free Radic Biol Med, 26(9-10):1231-7.

Rédei K.M., Osváth-Bujtás Z., Veperdi I. (2008). Black locust (Robinia pseudoacacia L.) improvement in Hungary: a review. Acta Silvatica et Lignaria Hungarica: An International Journal in Forest, Wood and Environmental Sciences, 4(1), 127-132.

Rejdak M., Wojtaszek-Kalaitzidi M., Gałko G., Mertas B., Radko T., Baron R., Książek M., Yngve Larsen S., Sajdak M., Kalaitzidis S. (2022). A Study on Bio-Coke Production—The Influence of Bio-Components Addition on Coke-Making Blend Properties. Energies, 15(18):6847.

Ren, M.X., Zhang, Q.G. (2009). The relative generality of plant invasion mechanisms and predicting future invasive plants. European Weed Research Society Weed Research 49, 449-460.

Rhofita E.I., Rachmat R., Meyer M., Montastruc L. (2022). Mapping analysis of biomass residue valorization as the future green energy generation in Indonesia. Journal of Cleaner Production, 354, 131667.

Ricciardi A., Steiner W.W.M., Mack R.N., Simerloff D. (2000). Towards a global information system for invasive species. Bioscience 50 (3): 239-44.

Rinella M.J., Maxwell B.D., Fay P.K., Weaver T., Sheley R.L. (2009). Control effort exacerbates invasive-species problem. Ecol. Appl. 19, 155–162.

Robbins R.J. (2003). Phenolic acids in foods: an overview of analytical methodology. Journal of agricultural and food chemistry, 51(10), 2866-2887.

Roiloa S.R., Yu F.H., Barreiro R. (2020). Plant invasions: Mechanisms, impacts and management. Flora, 267, 151603.

Rojas-Sandoval J. (2022). Abutilon theophrasti (Velvet Leaf). CABI Digital Library. 1-15.

Romulo A. (2020). The principle of some in vitro antioxidant activity methods. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 426, No. 1, p. 012177). IOP Publishing.

Roos C. J. (2008). Biomass drying and dewatering for clean heat & power. Olympia, WA, USA: Northwest CHP Application Center, 1-35.

Rouifed S., Byczek C., Laffray D. Piola F. (2012). Invasive Knotweeds are Highly Tolerant to Salt Stress. Environmental Management, 50, 1027–1034.

Roy A., Khan A., Ahmad I., Alghamdi S., Rajab B. S., Babalghith A. O., Alshaharani M.Y., Islam S., Islam, M. R. (2022). Flavonoids a bioactive compound from medicinal plants and its therapeutic applications. BioMed research international.

Rudrapal M., Chetia D. (2017). Plant flavonoids as potential source of future antimalarial leads. Systematic Reviews in Pharmacy, 8(1), 13-18.

Sadaka S., Johnson D.M. (2011). Biomass Combustion. Cooperative Extension Service, University of Arkansas. US Department of Agriculture and county governments cooperating.

Sahay S. (2022). Deconstruction of lignocelluloses: Potential biological approaches. In Handbook of biofuels. Academic Press. 207-232.

Saidur R., Abdelaziz E.A., Demirbas A., Hossain M.S., Mekhilef S. (2011). A review on biomass as a fuel for boilers. Renewable and sustainable energy reviews, 15(5), 2262-2289.

Samtiya M., Aluko R.E., Dhewa T., Moreno-Rojas J.M. (2021). Potential Health Benefits of Plant Food-Derived Bioactive Components: An Overview. Foods, 10(4):839

Sardans J., Peñuelas J. (2021). Potassium Control of Plant Functions: Ecological and Agricultural Implications. Plants, 10(2):419.

Sarkar D. (2015). Thermal power plant: design and operation. Elsevier.

Sarker U., Oba S. (2020). Phenolic profiles and antioxidant activities in selected drought-tolerant leafy vegetable amaranth. Sci Rep 10, 18287.

Sarker U., Oba, S. (2018). Drought stress effects on growth, ROS markers, compatible solutes, phenolics, flavonoids, and antioxidant activity in Amaranthus tricolor. Applied biochemistry and biotechnology, 186, 999-1016.

SAS Institute. SAS®/STAT 9.4. SAS Institute Inc: Cary, NC. SAD (2011).

Schlaepfer D.R., Edwards P.J., Billeter R. (2010). Why only tetraploid Solidago gigantea (Asteraceae) became invasive: a common garden comparison of ploidy levels. Oecologia, 163(3), 661-673.

Scurlock J. M. O. Hall D. O. (1988). The global carbon sink: a grassland perspective. Glob. Change Biol. 4, 229–233.

Seebens H., Blackburn T., Dyer E. i sur. (2017). No saturation in the accumulation of alien species worldwide. Nat Commun 8, 14435.

Seo M.W., Jeong H.M., Lee W.J., Yoon S.J., Ra H.W., Kim Y.K., Lee D., Han S.W., Kim S.D., Lee J.G., Jeong S.M. (2020). Carbonization characteristics of biomass/coking coal blends for the application of bio-coke. Chemical Engineering Journal, 394, 124943.

Shadangi K.P., Sarangi P.K., Mohanty K., Deniz I., Gollakota A.R.K. (Eds.). (2023). Bioenergy Engineering: Fundamentals, Methods, Modelling, and Applications. Elsevier.

Shah M.A.R., Khan R.A., Ahmed M. (2019). Phytochemical analysis, cytotoxic, antioxidant and anti-diabetic activities of the aerial parts of Sorghum halepense. Bangladesh. J. Pharmacol., 14 (3), 144–151.

Shah M.A.R., Khan R.A., Ahmed M. (2021). Sorghum halepense (L.) Pers rhizomes inhibitory potential against diabetes and free radicals. Clinical Phytoscience, 7, 1-16.

Shahid M., Singh R.K., Thushar S. (2023). Proximate Composition and Nutritional Values of Selected Wild Plants of the United Arab Emirates. Molecules, 28(3):1504.

Sharifi-Rad M., Anil Kumar N.V., Zucca P., Varoni E.M., Dini L., Panzarini E., Rajković J., Fokou P.V.T., Azzini E., Peluso I., Mishra A.P., Nigam M., El Rayess Y., El Beyrouthy M., Polito L., Iriti M., Martins N., Matorell M., Docea A.O., Setzer W.N., Calina D., Cho W.C., Sharifi-Rad J. (2020). Lifestyle, oxidative stress, and antioxidants: back and forth in the pathophysiology of chronic diseases. Frontiers in physiology, 11, 694.

Sharma R., Bhattu M., Tripathi A., Verma M., Acevedo R., Kumar P., Rajput V.D., Singh J. (2023). Potential medicinal plants to combat viral infections: A way forward to environmental biotechnology. Environmental Research, 115725.

Sharma V., Pant S. (2019). Weed as underutilized bio-resource and management tool: A comprehensive review. Waste and biomass valorization, 10, 1795-1810.

Shea K., Chesson P. (2002) Community ecology theory as a framework for biological invasions. Trends in Ecology & Evolution. Volume 17, Issue 4, Pages 170-176.

Sheng C., Azevedo J.L.T. (2005). Estimating the higher heating value of biomass fuels from basic analysis data. Biomass and bioenergy, 28(5), 499-507.

Siddiqui J. A., Bamisile B. S., Khan M. M., Islam W., Hafeez M., Bodlah I., Xu, Y. (2021). Impact of invasive ant species on native fauna across similar habitats under global environmental changes. Environmental Science and Pollution Research, 28, 54362-54382.

Sieradzka M, Kirczuk C, Kalemba-Rec I, Mlonka-Mędrala A, Magdziarz A. (2022). Pyrolysis of Biomass Wastes into Carbon Materials. Energies, 15(5):1941.

Sikora A., Hájková K., Jurczyková T. (2022). Degradation of Chemical Components of Thermally Modified Robinia pseudoacacia L. Wood and Its Effect on the Change in Mechanical Properties. International Journal of Molecular Sciences, 23(24):15652.

Silva D.A.D., Eloy E., Caron B.O., Trugilho P.F. (2019). Elemental chemical composition of forest biomass at different ages for energy purposes. Floresta e Ambiente, 26 (4), e20160201.

Silvertown J.W., Fraco M., Pisanty I., Mendoza A. (1993). Comparative plant demography-relative importance of the life-cycle components to the finite rate of increase in woody and herbaceous matures. J Ecol 81:465–476.

Simcox A.C. (2022). Reducing Emissions from Open Burning: Overview of US Agricultural Burning & Smoke Management. EANET Fourth Asia Pacific Clean Air Partnership (APCAP) Joint Forum. Suwon , Republic of Korea.

Sindhu R., Binod P., Pandey A., Ankaram S., Duan Y., Awasthi M.K. (2019). Biofuel production from biomass: toward sustainable development. In Current developments in biotechnology and bioengineering (79-92). Elsevier.

Sivabalan K., Hassan S., Ya H., Pasupuleti J. (2021). A review on the characteristic of biomass and classification of bioenergy through direct combustion and gasification as an alternative power supply. In Journal of physics: conference series, 1831(1), 012033).

Sluiter A., Hames B., Ruiz R., Scarlata C., Sluiter J., Templeton D., Crocker D. (2008a) National Renewable Energy Laboratory Technical Report NREL/TP-510-42618. Determination of Structural Carbohydrates And Lignin In Biomass.

Sluiter A., Hames B., Ruiz R., Scarlata C., Sluiter J., Templeton D (2008b) Determination of sugars, byproducts, and degradation products in liquid fraction process

samples. National Renewable Energy Laboratory Technical Report, NREL/TP-5100-42623, Golden, CO.

Soare L.C., Şuţan A.N., Dobrescu C.M., Drăghiceanu O.A. (2022). The Allelopathic Potential of Erigeron Annuus (L.) Desf. Subsp. Annuus Extracts on Crop Species. Scientific Studies & Research. Series Biology/Studii si Cercetari Stiintifice. Seria Biologie, 31(1).

Spencer N.R. (1984). Velvetleaf, Abutilon theophrasti (malvaceae), history and economic impact in the United States. Econ Bot 38, 407-416.

Spicer M.E., Radhamoni H.V.N., Duguid,M.C. i sur. (2022). Herbaceous plant diversity in forest ecosystems: patterns, mechanisms, and threats. Plant Ecol 223, 117–129.

Srivastava M., Srivastava N., Singh R. (Eds.). (2021a). Bioenergy research: biomass waste to energy. Springer.

Srivastava, N., Singh, A., Kumari, P., Nishad, J. H., Gautam, V. S., Yadav, M., Bharti R., Kumar D., Kharwar R. N. (2021b). Advances in extraction technologies: Isolation and purification of bioactive compounds from biological materials. In Natural bioactive compounds (409-433). Academic Press.

STATISTICA 10.0. StatSoft Inc.: Tulsa, OK, USA (2010).

Steger U. Achterberg W. Blok K. (2005). Sustainable Development and Innovation in the Energy Sector, Springer, ISBN 978-3-540-23103-5.

Stringlis I. A., De Jonge R., Pieterse C. M. (2019). The age of coumarins in plant–microbe interactions. Plant and Cell Physiology, 60(7), 1405-1419.

Striūgas N., Sadeckas M., Paulauskas R. (2018). Investigation of K*, Na* and Ca* flame emission during single biomass particle combustion. Combustion Science and Technology, 191(1), 151–162.

Sudarić Bogojević M. (2018). Invazivne strane vrste - stvarna prijetnja okolišu i zdravlju. DDD i ZUPP 2018 - Invazivne strane vrste - izazov struci / Korunić, Javorka (ur.). Zagreb: Korunić, 1-28.

Suseela V., Alpert P., Nakatsu C.H., Armstrong A., Tharayil N. (2016). Plant–soil interactions regulate the identity of soil carbon in invaded ecosystems: implication for legacy effects. Funct. Ecol. 30 (7), 1227–1238.

Szulc P., Bocianowski J., Nowosad K., Rybus-Zając M., Waligora H., Michalski T. (2017). The dynamics of a dry matter accumulation in the initial period of growth of four varieties of the „stay-green" type of maize (Zea mays L.). Pak. J. Bot, 49(3), 1017-1022.

Šic Žlabur J., Opačić N., Žutić I., Voća S., Poštek M., Radman S., Benko B., Uher S.F. (2021). Valorization of Nutritional Potential and Specialized Metabolites of Basil Cultivars Depending on Cultivation Method. Agronomy, 11(6):1048.

Škvorc Ž. (2021).Toni Nikolić – Flora Croatica: Vaskularna flora Republike Hrvatske, vols. 1-4 (2019-2020). Book Review Acta Bot. Croat. 80 (2).

Taiz L., Zeiger E. (2010). Plant Physiology. 5th Edition, Sinauer Associates Inc., Sunderland, 782.

Tanger P., Field J.L., Jahn C.E., DeFoort M.W., Leach J.E. (2013). Biomass for thermochemical conversion: targets and challenges. Frontiers in plant science, 4, 218.

Tao G., Lestander T.A., Geladi P., Xiong S. (2012). Biomass properties in association with plant species and assortments I: A synthesis based on literature data of energy properties. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16(5), 3481-3506.

Tariq A., Zeng F., Graciano C., Ullah A., Sadia S., Ahmed Z., Murtaza G., Ismoilov K., Zhang, Z. (2023). Regulation of metabolites by nutrients in plants. Plant Ionomics: Sensing, Signaling, and Regulation, 1-18.

Teng L., Liu H., Chu X., Song X., Shi L. (2022). Effect of precipitation change on the photosynthetic performance of Phragmites australis under elevated temperature conditions. PeerJ, 10, e13087.

Teplova V.V., Isakova E.P., Klein O.I., Dergachova D.I., Gessler N.N., Deryabina Y.I. (2018). Natural polyphenols: Biological activity, pharmacological potential, means of metabolic engineering. Applied Biochemistry and Microbiology, 54, 221-237.

Terashima I., Hanba Y.T., Tholen D., Niinemets Ü. (2011). Leaf functional anatomy in relation to photosynthesis. Plant physiology, 155(1), 108-116.

Terzopoulou P., Kamperidou V. (2022). Chemical characterization of Wood and Bark biomass of the invasive species of Tree-of-heaven (Ailanthus altissima (Mill.) Swingle), focusing on its chemical composition horizontal variability assessment. Wood Material Science & Engineering, 17(6), 469-477.

Teshome E., Forsido S.F., Rupasinghe H. P., Olika Keyata E. (2022). Potentials of natural preservatives to enhance food safety and shelf life: A review. The Scientific World Journal.

Tiwari A.K., Prasad N., Pal D.B. (2022). Use of Waste Biomass as Remediator for Environmental Pollution. In Utilization of Waste Biomass in Energy, Environment and Catalysis (199-216). CRC Press.

Tiwari S.C., Husain N. (2017). Biological activities and role of flavonoids in human health–A. Indian J Sci Res, 12(2), 193-6.

Torres-Contreras A.M., Garcia-Baeza A., Vidal-Limon H.R., Balderas-Renteria I., Ramírez-Cabrera M.A., Ramirez-Estrada K. (2022). Plant secondary metabolites against skin photodamage: Mexican plants, a potential source of uv-radiation protectant molecules. Plants, 11(2), 220.

Travlos I.S., Montull J.M., Kukorelli G., Malidza G., Dogan M.N., Cheimona N., Antonopoulos N., Kanatas P.J., Zannopoulos S., Peteinatos G. (2019). Key aspects on the biology, ecology and impacts of Johnsongrass [Sorghum halepense (L.) Pers] and the role of glyphosate and non-chemical alternative practices for the management of this weed in Europe. Agronomy, 9(11), 717.

Treutter D. (2005). Significance of flavonoids in plant resistance and enhancement of their biosynthesis. Plant biology, 7(06), 581-591.

Tu P., Zhang G., Wei G., Li J., Li Y., Deng L., Yuan H. (2022). Influence of pyrolysis temperature on the physicochemical properties of biochars obtained from herbaceous and woody plants. Bioresour. Bioprocess., 9 (1), 131.

Tumuluru J. S. (Ed.). (2017). Biomass volume estimation and valorization for energy. BoD–Books on Demand.

Tursi A., Olivito F. (2021). Biomass conversion: general information, chemistry, and processes. In Advances in Bioenergy and Microfluidic Applications (3-39). Elsevier.

Twardowska I., Allen H.E., Kettrup A.F., Lacy W.J. (2004). Solid waste: assessment, monitoring and remediation. Gulf Professional Publishing.

Udovičić M., Baždarić K., Bilić-Zulle L., Petrovečki M. (2017). What we need to know when calculating the coefficient of correlation?Biochemia Medica, 17(1):1–138.

UN. (2024). United Nations: Sustainable development knowledge platform, sustainable development goals. https://sdgs.un.org/goals. [Pristupljeno: 17.09.2024.]

Uzelac M., Sladonja B., Šola I., Dudaš S., Bilić J., Famuyide I.M., McGaw L.J., Eloff J.N., Mikulic-Petkovsek M., Poljuha D. (2023). Invasive Alien Species as a Potential Source of Phytopharmaceuticals: Phenolic Composition and Antimicrobial and Cytotoxic Activity of Robinia pseudoacacia L. Leaf and Flower Extracts. Plants, 12(14):2715.

Valiño A., Pardo-Muras M., Puig C.G., López-Periago J.E., Pedrol N. (2023). Biomass from Allelopathic Agroforestry and Invasive Plant Species as Soil Amendments for Weed Control - A Review. Agronomy, 13(12):2880.

Van Kleunen M., Dawson W., Essl F. i sur. (2015). Global exchange and accumulation of non-native plants. Nature 525, 100–103.

Van Meerbeek K., Appels L., Dewil R., Calmeyn A., Lemmens P., Muys B., Hermy M. (2015). Biomass of invasive plant species as a potential feedstock for bioenergy production. Biofuels, Bioprod Bioref. 9:273–282.

Van Valen L. (1976). Ecological Species, Multispecies, and Oaks. Taxon 25, 2/3, 233–239.

Vargas-Murga L., de Rosso V.V., Mercadante A.Z., Olmedilla-Alonso B. (2016). Fruits and vegetables in the Brazilian Household Budget Survey (2008–2009): carotenoid content and assessment of individual carotenoid intake. Journal of Food Composition and Analysis, 50, 88-96.

Vargas-Ortiz E., Ramírez-Tobias H.M., González-Escobar J.L., Gutierrez-Garcia A.K., Bojorquez-Velazquez E., Espitia-Rangel E., de la Rosa A.P.B. (2021). Biomass, chlorophyll fluorescence, and osmoregulation traits let differentiation of wild and cultivated Amaranthus under water stress. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 220, 112210.

Vasiliki K., Ioannis B. (2017, November). Utilization perspectives of wood and bark of the invasive species of Ailanthus and Acacia in the production of pellets. In Proceedings of the International Forestry and Environment Symposium, Trabzon, Turkey. 7-10.

Vassilev S.V., Baxter D., Andersen L.K., Vassileva C.G. (2010). An overview of the chemical composition of biomass. Fuel, 89(5), 913-933.

Vaverková M.D., Paleologos E.K., Adamcová D., Podlasek A., Pasternak G., Červenková J., Skutnik Z., Koda E., Winkler J. (2022). Municipal solid waste landfill: Evidence of the effect of applied landfill management on vegetation composition. Waste Management & Research, 40(9), 1402-1411.

Vélez-Terranova M., Salamanca-Carreño A., Bejarano-Sánchez A.M., González-Castro D.A., Higuera-Pedraza R.D., Giraldo L.A. (2022). Nutritional Characteristics and Digestibility of Woody and Herbaceous Native Plants from Tropical Flooded Savannas Ecosystems. Agriculture, 12(10):1613.

Vicente O., Boscaiu M. (2018). Flavonoids: Antioxidant compounds for plant defence... and for a healthy human diet. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 46(1), 14-21.

Vijayakumar R., Raja S.S. (Eds.). (2018). Secondary metabolites: Sources and applications. BoD–Books on Demand.

Vila M., Espinar J.L., Hejda M., Hulme P.E., Jaros V., Maron J.L., Pergl J., Schaffner U., Sun Y., Pys P. (2011). Ecological impacts of invasive alien plants: a meta-analysis of their effects on species, communities and ecosystems. Ecology Letters, (2011) 14:702–708.

Vilà M., Weiner J. (2004). Are invasive plant species better competitors than native plant species? – evidence from pair-wise experiments. Oikos, 105: 229-238.

Vitko S. (2018). Inventarizacija invazivnih biljnih vrsta u središnjem i zapadnom dijelu Parka prirode Žumberak – Samoborsko gorje. Interni izvještaj JU Park Prirode Žumberak-Samoborsko Gorje. Slani dol. 1-3.

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.

Voća N., Bilandžija N., Peter A., Krička T. (2020). Ragweed (Ambrosia artemisiifolia L.) biomass as a source for energy production. Technologica Acta, 13(2), 17-22.

Vukojević M., Vitasović Kosić I. (2012). Planina Matokit i grad Vrgorac: novo nalazište ugroženih i invazivnih svojti u Hrvatskoj. Journal of Central European Agriculture. 150.-166.

Vuković N. (2015). Ekogeografija invazivne flore hrvatske. Doktorska disertacija, Prirodoslovno-matematički fakultetu Zagrebu, Zagreb. 1-69.

Wang S., Zhu F. (2017). Chemical composition and biological activity of staghorn sumac (Rhus typhina). Food chemistry, 237, 431-443.

Wang S., Zou C., Lou C., Yang H., Mei Jing H., Cheng S. (2020a). Effects of hemicellulose, cellulose and lignin on the ignition behaviors of biomass in a drop tube furnace. Bioresource Technology, 123456.

Wang S., Zou C., Yang H., Lou C., Cheng S., Peng C., Wang C., Zou H. (2020b). Effects of cellulose, hemicellulose, and lignin on the combustion behaviours of biomass under various oxygen concentrations, Bioresource Technology. 124375.

Weber K., Quicker P. (2018). Properties of biochar. Fuel, 217, 240-261.

Wei H., Yingting Y., Jingjing G., Wenshi Y., Junhong T. (2017). Lignocellulosic biomass valorization: production of ethanol.

Wettstein D. (1957). Chlorophyll letale und der submikroskopische Formwechsel der Plastiden. Exp. Cell Res., 12, 427–434.

White P.J., Brown P.H. (2010). Plant nutrition for sustainable development and global health. Ann Bot.,105(7):1073-80.

Wiatrowska B.M., Wawro A., Gieparda W., Waliszewska B. (2022). Bioethanol Production Potential and Other Biomass Energy Properties of Invasive Reynoutria, Solidago, and Spiraea Plants. Forests,13(10):1582.

Wood J. D. (2017). Meat composition and nutritional value. In Lawrie´ s Meat Science (635-659). Woodhead Publishing.

Wrona O., Rafińska K., Możeński C., Buszewski B. (2019). Supercritical carbon dioxide extraction of Solidago gigantea Ait.: Optimization at quarter-technical scale and scale up the process to half-technical plant. Industrial Crops and Products, 130, 316-324.

Wu P., Li B., Liu Y., Bian Z., Xiong J., Wang Y., Zhu B. (2024). Multiple Physiological and Biochemical Functions of Ascorbic Acid in Plant Growth, Development, and Abiotic Stress Response. International Journal of Molecular Sciences, 25(3):1832.

Xiao B., Sun X., Sun R. (2001). Chemical, structural, and thermal characterizations of alkali-soluble lignins and hemicelluloses, and cellulose from maize stems, rye straw, and rice straw. Polymer degradation and stability, 74(2), 307-319.

Xu F., Li Y. (2017). Biomass Digestion, Editor(s): Martin A. Abraham, Encyclopedia of Sustainable Technologies, Elsevier. 197-204.

Xu S., Zhou C., Fang H., Zhu W., Shi J., Liu G. (2023). Characteristics of trace elements and potential environmental risks of the ash from agricultural straw direct combustion biomass power plant. Chemosphere, 333, 138989.

Yaashikaa P.R., Kumar P.S., Varjani S. (2022). Valorization of agro-industrial wastes for biorefinery process and circular bioeconomy: A critical review. Bioresource Technology, 343, 126126.

Yamamoto K., Fukuda M., Hanatani A. (2021). Ultrasupercritical and advanced ultrasupercritical power plants. In Advances in Power Boilers. Elsevier. 345-390.

Yan B., Lv J., Zhou S., Wu Z., Liu X., Li B., Gao Q., Wu W., Chen, G. (2024). Application of optical diagnosis technology in biomass combustion. Biomass and Bioenergy, 184, 107198.

Yan Y., Meng Y., Tang L., Kostas E.T., Lester E., Wu T., Pang C.H. (2019). Ignition and Kinetic Studies: The Influence of Lignin on Biomass Combustion. Energy & Fuels, 33(7), 6463-6472.

Yang I., Kim S.H., Sagong M., Han G.S. (2016). Fuel characteristics of agropellets fabricated with rice straw and husk. Korean Journal of Chemical Engineering, 33 (3),851–857.

Yang J., Gao Y., Zhao C., Chen H. (2024). Leaf phenotypic plasticity and integration balance plant adaptation to water table decline: a mesocosm experiment. Plant and Soil, 497(1), 611-627.

Yang S.C., Pu J.X., Lu Y., Xiao F.H., Xiao W.L., Sun H.D. (2008). A new lipophilic monosaccharide from Erigeron annuus. Chinese Chemical Letters, 19(10), 1231-1233.

Yang X., Jiang Y., Yang J., He J., Sun J., Chen F., Zhang M., Yang B. (2015). Prenylated flavonoids, promising nutraceuticals with impressive biological activities. Trends in Food Science & Technology, 44(1), 93-104.

Yannelli F.A., MacLaren C., Kollmann J. (2020). Moving away from limiting similarity during restoration: Timing of arrival and native biomass are better proxies of invasion suppression in grassland communities. Frontiers in Ecology and Evolution, 8, 238.

Young I.S., Woodside J.V. (2001). Antioxidants in health and disease. Journal of clinical pathology, 54(3), 176-186.

Yousuf A., Pirozzi D., Sannino F. (2020). Fundamentals of lignocellulosic biomass. In Lignocellulosic biomass to liquid biofuels (1-15). Academic Press.

Yu H., Zhang Z., Li Z., Chen D. (2014). Characteristics of tar formation during cellulose, hemicellulose and lignin gasification. Fuel, 118, 250-256.

Yuan Y., Wang H., Dai X. (2024). Aboveground and belowground biogeochemical niche separation between woody and herbaceous species explains their coexistence in subtropical plantations. Plant and Soil, 1-13.

Yustanti E., Wardhono E.Y., Mursito A.T., Alhamidi A. (2021). Types and composition of biomass in biocoke synthesis with the coal blending method. Energies, 14(20), 6570.

Yusuf E. (2021). Total phenolic content and antioxidant activities of invasive Erigeron annuus Pers.(Asteraceae) from different localities. International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences, 5(2), 173-178.

Zahariev D., Ivanova N., Nasuf A. (2021). Invasive alien plant species distributed as weeds in arable land in Bulgaria. Acta Scientifica Naturalis, 8(3), 41-54.

Zastempowski M. (2023). Analysis and modeling of innovation factors to replace fossil fuels with renewable energy sources-Evidence from European Union enterprises. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 178, 113262.

Zavaleta E., 2000. The economic value of controlling an invasive shrub. AMBIO 29 (8), 462–467.

Zaveri N.T. (2006). Green tea and its polyphenolic catechins: medicinal uses in cancer and noncancer applications. Life sciences, 78(18), 2073-2080.

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.

Zekič J., Vovk I., Glavnik V. (2020). Extraction and analyses of flavonoids and phenolic acids from Canadian goldenrod and giant goldenrod. Forests, 12(1), 40.

Zha J., Huang Y., Zhu Z., Yu M., Clough P.T., Yan Y., Dong L., Cheng H. (2021). Dynamic transformations of metals in the burning solid matter during combustion of heavy metal-contaminated biomass. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 9(20), 7063-7073.

Zhang J., He N., Liu C., Xu L., Chen Z., Li Y., Wang R., Yu G., Sun W., Xiao C., Chen H.Y.H., Reich P.B. (2020). Variation and evolution of C: N ratio among different organs enable plants to adapt to N-limited environments. Global Change Biology, 26(4), 2534-2543.

Zhang J., Yan M. (2016). Reproduction and community dynamics of staghorn sumac (Rhus typhina) in a coal-gangue area. Acta Ecologica Sinica, 36(3), 195-199.

Zhang W., Chen X., Liu R., Song X., Liu G., Zou J., Qian Z., Zhu Z., Cui L. (2022). Realized niche shift associated with Galinsoga quadriradiata (Asteraceae) invasion in China. Journal of Plant Ecology, 15(3), 538-548.

Zhang W., Qin W., Li H., Wu A.M. (2021). Biosynthesis and Transport of Nucleotide Sugars for Plant Hemicellulose. Front Plant Sci., 12,12:723128.

Zhang X., Yu H.J., Zhang X.M., Yang X.Y., Zhao W.C., Li Q., Jiang W.J. (2016). Effect of nitrogen deficiency on ascorbic acid biosynthesis and recycling pathway in cucumber seedlings. Plant Physiology and Biochemistry, 108, 222-230.

Zhao Y., Wu Y., Wang M. (2015). Bioactive Substances of Plant Origin. In: Cheung, P., Mehta, B. (eds) Handbook of Food Chemistry. Springer, Berlin, Heidelberg.

Zima D., Štefanić E. (2009). Florističke značajke suhih travnjaka Požeške kotline, Agronomski glasnik, 71(2): 141-150.

Zimdahl R.L. (2018). Fundamentals of Weed Science. Academic Press Inc.: San Diego, CA, USA.

Žuna Pfeiffer T., Mandir T., Špoljarić Maronić D., Stević F., Bek N., Martinović A. (2023). Rasprostranjenost pajasena (Ailanthus altissima (Mill.) Swingle), invazivne biljne vrste, na području grada Osijeka. Glasilo Future (2023) 6 (1). 28-42.

9. ŽIVOTOPIS

Anamarija Peter, mag. ing. agr., rođena 26. veljače 1993. u Čakovcu, završila je Opću gimnaziju Josipa Slavenskog 2011. godine. Nakon srednje škole, upisala je stručni studij Sanitarno inženjerstvo na Zdravstvenom veleučilištu u Zagrebu, koji je završila 2014. godine. Iste godine započela je dva paralelna studija: specijalistički diplomski studij Sanitarno inženjerstvo na Zdravstvenom veleučilištu i diplomski studij Agroekologija: Mikrobna biotehnologija u poljoprivredi na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, koje je uspješno završila 2017. godine. Godine 2018. zaposlila se kao doktorandica i asistentica na projektu "*Projekt razvoja karijera mladih istraživača – izobrazba novih doktora znanosti*" Hrvatske zaklade za znanost na Zavodu za održive tehnologije i obnovljive izvore energije na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, gdje je 2019. godine upisala poslijediplomski doktorski studij *Poljoprivredne znanosti*. Od 2022. godine, zaposlena je na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu na radnom mjestu asistentice. Član je *Udruge poslijediplomskih studenata Agronomskog fakulteta* te *Udruge Penkala*. U svom istraživačkom radu bavi se fokusira na trenutne globalne izazove poput klimatskih promjena, obnovljivih izvora energije, gospodarenje otpadom, otpad od hrane te invazivne biljne vrste. Također se bavi istraživanjem održivih prehrambenih lanaca te funkcionalne vrijednosti specijaliziranih metabolita i njihovim mogućnostima primjene u razvoju biogospodarstva. Kao autorica i koautorica, objavila je više od 13 izvornih znanstvenih radova u prestižnim časopisima, 6 u zbornicima domaćih i međunarodnih skupova, 4 pregledna i 4 stručna rada, dok je s još devet sažetaka sudjelovala na domaćim i međunarodnim znanstvenim i stručnim kongresima. Sudjelovala je u nekoliko važnih istraživačkih projekata vezanih uz obnovljive izvore energije, poljoprivredu, biomasu, biogoriva i gospodarenje otpadom. Kao koautorica, pridonijela je nastanku dva sveučilišna priručnika, uključujući „*Proizvodnju hrane, biokompozita i biogoriva iz žitarica u kružnom gospodarstvu*“ te „*Održivi razvoj biokompozita i biogoriva iz obnovljivih izvora energije*“. Dobitnik je CEEPUS stipendije za mobilnost tijekom akademske godine 2021./2022. Aktivno sudjeluje u nastavnom procesu na fakultetu, prenoseći studentima stečena znanja i laboratorijske vještine kroz predavanja, seminare i laboratorijske vježbe iz područja interesa, a s ciljem razvoja održive poljoprivrede. U nastavi primjenjuje interdisciplinarne metode koje povezuju teoriju i praktičnu primjenu, pridonoseći razvoju novih generacija stručnjaka u području održive poljoprivrede. Osim nastavnih aktivnosti, sudjeluje u brojnim volonterskim i kreativnim projektima, kroz koje organizira radionice s naglaskom na podizanje svijesti o važnosti održivih praksi i angažiranja zajednice. Njezin volonterski rad proteže se kroz sve dobne skupine, uključujući mlađe generacije, ali i stručne skupove za nastavnike i predavače. Nadalje, Anamarija pridonosi i popularizaciji znanosti, što je uključivalo gostovanje u emisiji HRT-a *Prometej*, gdje je predstavila svoja istraživanja.

CROSBI profil: https://www.croris.hr/osobe/profil/36395

Izvorni znanstveni radovi (13):

1. Brandić, Ivan; Pezo, Lato; Voća, Neven; Leto, Josip; Šurić, Jona; **Peter, Anamarija**; Bilandžija, Nikola. Assessing the properties of Miscanthus x Giganteus under varying levels of ash fertilization treatment and regression neural network insight into calorific value. Thermal science, 00 (2024), 00; 60-74.
2. Brandić, Ivan; Voća, Neven; Gunjača, Jerko; Lončar, Biljana; Bilandžija, Nikola; **Peter, Anamarija**; Šurić, Jona; Pezo, Lato. Biomass higher heating value prediction machine learning insights into ultimate, proximate, and structural analysis datasets. Energy sources. Part A-recovery utilization and environmental effects, 46 (2024), 1; 2842-2854.
3. Šurić, Jona ; Voća, Neven ; **Peter, Anamarija** ; Bilandžija, Nikola ; Brandić, Ivan ; Pezo, Lato ; Leto, Josip. Use of Artificial Neural Networks to Model Biomass Properties of

Miscanthus (Miscanthus × giganteus) and Virginia Mallow (Sida hermaphrodita L.) in View of Harvest Season // Energies (Basel), 16 (2023), 11; 4312, 20. doi: 10.3390/en16114312
4. Brandić, Ivan ; Pezo, Lato ; Bilandžija, Nikola ; **Peter, Anamarija** ; Šurić, Jona ; Voća, Neven. Comparison of Different Machine Learning Models for Modelling the Higher Heating Value of Biomass // Mathematics, 11(9) (2023), 2098, 14.
5. Lubura, Jelena ; Pezo, Lato ; Sandu, Mirela Alina ; Voronova, Viktoria ; Donsì, Francesco ; Šic Žlabur, Jana ; Ribić, Bojan ; **Peter, Anamarija** ; Šurić, Jona ; Brandić, Ivan et al. Food Recognition and Food Waste Estimation Using Convolutional Neural Network // Electronics (Basel), 11 (2022), 22; 3746, 16.
6. Šurić, Jona ; Šic Žlabur, Jana ; **Peter, Anamarija** ; Brandić, Ivan ; Voća, Sandra ; Dujmović, Mia ; Leto, Josip ; Voća, Neven. Energy vs. Nutritional Potential of Virginia Mallow (Sida hermaphrodita L.) and Cup Plant (Silphium perfoliatum L.) // Plants, 11 (2022), 21; 2906, 19.
7. Brandić, Ivan ; Pezo, Lato ; Bilandžija, Nikola ; **Peter, Anamarija** ; Šurić, Jona ; Voća, Neven. Artificial Neural Network as a Tool for Estimation of the Higher Heating Value of Miscanthus Based on Ultimate Analysis // Mathematics, 10 (2022), 20; 3732, 12.
8. **Peter, Anamarija** ; Bilandžija, Nikola ; Krička, Tajana ; Šurić, Jona ; Voća, Neven. Species Arar (Phoenicea juniperus L.) as a biomass source – A case study // Energy sources. Part A-recovery utilization and environmental effects, 44 (2022), 3; 6009-6020.
9. Šurić, Jona ; Brandić, Ivan ; **Peter, Anamarija** ; Bilandžija, Nikola ; Leto, Josip ; Karažija, Tomislav ; Kutnjak, Hrvoje ; Poljak, Milan ; Voća, Neven. Wastewater Sewage Sludge Management via Production of the Energy Crop Virginia Mallow // Agronomy, 12 (2022), 7; 1578, 15.
10. Voća, Neven ; Leto, Josip ; Karažija, Tomislav ; Bilandžija, Nikola ; **Peter, Anamarija** ; Kutnjak, Hrvoje ; Šurić, Jona ; Poljak, Milan. Energy Properties and Biomass Yield of Miscanthus x Giganteus Fertilized by Municipal Sewage Sludge // Molecules, 26 (2021), 14; 4371, 16.
11. **Peter, Anamarija** ; Šic Žlabur, Jana ; Šurić, Jona ; Voća, Sandra ; Dujmović Purgar, Dubravka ; Pezo, Lato ; Voća, Neven. Invasive Plant Species Biomass—Evaluation of Functional Value // Molecules, 26 (2021), 13; 3814, 19.
12. Voća, Neven ; Pezo, Lato ; **Peter, Anamarija** ; Šuput, Danijela ; Lončar, Biljana ; Krička, Tajana. Modelling of corn kernel pre-treatment, drying and processing for ethanol production using artificial neural networks // Industrial crops and products, 162 (2021), 113293, 11.
13. Voća, Neven ; Grubor, Mateja ; **Peter, Anamarija** ; Krička, Tajana. Evaluation of Posidonia oceanica waste as a biomass source for energy generation // BioEnergy Research, 12 (2019), 4; 1104-1112.

Znanstveni radovi u zbornicima skupova (6):

1. Bilandžija, Nikola; Mihalina, Vinko; Vuković, Dominik; Andabaka, Željko; **Peter, Anamarija**; Šurić, Jona; Voća, Neven. Energetski potencijal biomase vinograda i voćnjaka nakon uklanjanja nasada // Proceedings of the 59th Croatian and 19th International Symposium on Agriculture, 11 – 16 February, 2024 Dubrovnik, Croatia / Carović-Stanko, Klaudija; Kljak, Kristina (ur.). Zagreb: Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, 2024. str. 503-506.
2. Brandić, Ivan ; Pezo, Lato ; Šic Žlabur, Jana ; **Peter, Anamarija** ; Šurić, Jona ; Voća, Neven. Primjena modela umjetnih neuronskih mreža u predviđanju otpada od hrane na području Europske unije // 58 Croatian and 18 International Symposium of Agriculture : Proceedings / Carović-Stanko, Klaudija ; Širić, Ivan (ur.). Zagreb: Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2023. str. 416-421.
3. Šurić, Jona; **Peter, Anamarija**; Brandić, Ivan; Leto, Josip; Bilandžija, Nikola; Voća, Neven. Razlike u lignoceuloznom sastavu energetskih kultura u dva roka žetve // Zbornik radova

57. hrvatskog i 17. međunarodnog simpozija agronoma / Majić, Ivana; Antunović, Zvonko (ur.). Osijek: Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek, 2022. str. 671-675.
4. **Peter, Anamarija**; Dujmović Purgar, Dubravka; Međugorac, Terezija; Grubor, Mateja; Voća, Neven. Upotreba biomase invazivne biljne vrste amorfe (Amorpha fruticosa L.) u proizvodnji energije // Zbornik radova 55. hrvatski i 15. međunarodni simpozij agronoma. Zagreb: Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2020. str. 578-582.
5. **Peter, Anamarija**; Grubor, Mateja; Dujmović Purgar, Dubravka; Budimir, Ana; Voća, Neven. Use of Invasive Plant Species Tree of Heaven (Ailanthus Altissima Mill.) Biomass in Energy Production // Proceedings of the 47th International Symposium on Agricultural Engineering / Kovačev, Igor; Bilandžija, Nikola (ur.). Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet, 2019. str. 369-378.
6. **Peter, Anamarija**; Dujmović Purgar, Dubravka; Bukarica, Ivona; Grubor, Mateja; Voća, Neven. Korištenje biomase invazivne biljne vrste cigansko perje (Asclepias syriaca L.) u proizvodnji energije // Zbornik radova 54. hrvatski i 14. međunarodni simpozij agronoma. Zagreb: Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2019. str. 593-597.

Pregledni znanstveni radovi (4):

1. Bilandžija, Nikola; Voća, Neven; **Peter, Anamarija**. Peletiranje biomase energetskih kultura // Održivi razvoj biokompozita i biogoriva iz obnovljivih izvora energije / Bischof, Sandra (ur.). Zagreb: Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, 2023. str. 167-183.
2. **Peter, Anamarija** ; Šurić, Jona ; Dujmović Purgar, Dubravka ; Brandić, Ivan ; Voća, Neven. Impacts, threats, and potential benefits of invasive plant species // 58th Croatian & 18th International Symposium on Agriculture | 11-17 February, 2023, Dubrovnik, Croatia / Carović-Stanko, Klaudija; Širić, Ivan (ur.). Zagreb: Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2023. str. 462-466.
3. Šurić, Jona ; **Peter, Anamarija** ; Šic Žlabur, Jana ; Brandić, Ivan ; Voća, Neven. Uzroci i mogućnosti sprječavanja nastajanja otpada od hrane // 58th Croatian & 18th International Symposium on Agriculture | 11-17 February, 2023, Dubrovnik, Croatia / Carović-Stanko, Klaudija; Širić, Ivan (ur.). Zagreb: Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2023. str. 411-415.
4. Brandić, Ivan ; **Peter, Anamarija** ; Šurić, Jona ; Pezo, Lato ; Voća, Neven. Umjetne neuronske mreže kao statistički alat u predviđanju donje ogrjevne vrijednosti biomase // Zbornik radova. Vodice, 2022. str. 619-623.

Stručni radovi (4):

1. Bilandžija, Nikola; Puškarić, Andrea; Voća, Neven; Jurišić, Vanja; Šurić, Jona; **Peter, Anamarija.** The energy potential of the brewers' spent grain in small craft breweries - case study "Zmajska pivovara" // ACTUAL TASKS ON AGRICULTURAL ENGINEERING - ATAE 2023 / Kovačev, Igor ; Grubor, Mateja (ur.). Zagreb: University of Zagreb, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Engineering, 2023. str. 527-533.
2. Voća, Neven; Bilandžija, Nikola; **Peter, Anamarija**; Šurić, Jona; Krička, Tajana. Potential of biogas generation from processing grape by-products // Proceedings of the 48th Symposium „Actual Tasks of Agricultural Engineering. Zagreb, 2021. str. 435-443.
3. Šurić, Jona; Bilandžija, Nikola; **Peter, Anamarija**; Miliša Gregurić, Marsela; Voća, Neven. Positive Impact of European Directives on the Implementation of Biofuels in Croatia // Technologica acta (Tuzla), 14 (2021), 1; 1-6.
4. Voća, Neven; Bilandžija, Nikola; **Peter, Anamarija**; Krička, Tajana. Ragweed (Ambrosia artemisiifolia L.) biomass as a source for energy production // Technologica acta (Tuzla), 13 (2020), 2; 17-22.

Sveučilišni priručnik (1):

1. Krička, Tajana; Zjalić, Slaven; Bischof, Sandra; Vican; Dijana; Luketić, Daliborka; Kos, Tomislav; Lončar, Jelena; Zgorelec, Željka; Bilandžija, Nikola … **Peter, Anamarija** et al. Proizvodnja hrane, biokompozita i biogoriva iz žitarica u kružnom gospodarstvu. Zadar: Sveučilište u Zadru, 2023

Sažeci u zbornicima skupova (9)

10. POPIS PRILOGA

Prilog I.

Tablica 1. Popis stranih invazivnih biljnih vrsta u Hrvatskoj (Nikolić, 2024.)

RB	Vrsta	Porodica	Životni oblik*	Podrijetlo**	Hrvatski naziv
1	*Abutilon theophrasti* Medik.	Malvaceae	T	EA Af	teofrastov mračnjak, sljez krstati
2	*Acer negundo* L.	Aceraceae	P	Am	negundovac
3	*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle	Simaroubaceae	P	As	žljezdasti pajasen
4	*Amaranthus albus* L.	Amaranthaceae	T	Am	bijeli šćir
5	*Amaranthus blitoides* S. Watson	Amaranthaceae	T	Am	zapadnoamerički šćir
6	*Amaranthus deflexus* L.	Amaranthaceae	T	Am	teofrastov mračnjak, sljez krstati
7	*Amaranthus hybridus* L.	Amaranthaceae	T	Am	križani šćir
8	*Amaranthus retroflexus* L.	Amaranthaceae	T	Am	oštrodlakavi šćir
9	*Ambrosia artemisiifolia* L.	Asteraceae	T	Am	ambrozija/pelinolisni limundžik
10	*Amorpha fruticosa* L.	Fabaceae	N	Am	bagremac/kineski bagrem/čivitnjača/amorfa
11	*Angelica archangelica* L.	Apiaceae	H	EA	anđelika/anđelski koren
12	*Angelica archangelica* L. ssp. archangelica	Apiaceae	H	EA	angelica norvegica
13	*Artemisia annua* L.	Asteraceae	T	EA As	jednoljetni pelin/mirisni pelin
14	*Artemisia verlotiorum* Lamotte	Asteraceae	H	EA As	verlotov pelin
15	*Asclepias syriaca* L.	Asclepiadaceae	H	Am	cigansko perje/prava svilenica/ dubac svilni
16	*Aster squamatus* (Spreng.) Hieron.	Asteraceae	T	Am	ljuskavi zvjezdan
17	*Bidens frondosa* L.	Asteraceae	T	Am	lisnati dvozub
18	*Bidens subalternans* DC.	Asteraceae	T	Am	izmjenični dvozub
19	*Broussonetia papyrifera* (L.) Vent.	Moraceae	P	As	dudovac/papirni dudovac/smokovača
20	*Carpobrotus edulis* (L.) N. E. Br. in Phillips	Aizoaceae	C	Af	hotentotski karpobrot
21	*Cenchrus longispinus* (Kneuck.) Fernald	Poaceae	T	Am	dugotrni sitnoplodac

22	*Chamomilla suaveolens* (Pursh) Rydb.	Asteraceae	T	Am	slatkomirisna kamilica
23	*Chenopodium ambrosioides* L.	Chenopodiaceae	T	Am	samirao/mirisna loboda
24	*Conyza bonariensis* (L.) Cronquist	Asteraceae	T	Am	kovrčava hudoljetnica/kovrčava grmika
25	*Conyza canadensis* (L.) Cronquist	Asteraceae	T, H	Am	repušnjača/kanadska hudoljetnica/kanadska grmika
26	*Conyza sumatrensis* (Retz.) E. Walker	Asteraceae	T	Am	sumatranska hudoljetnica/sumatranska grmika
27	*Cuscuta campestris* Yunck.	Cuscutaceae	T	Am	poljska vilinkosa
28	*Datura innoxia* Mill.	Solanaceae	T	Am	tankobodljikavi kužnjak
29	*Datura stramonium* L.	Solanaceae	T	Am	bijeli kužnjak/datura/bodeća jabuka
30	*Diplotaxis erucoides* (L.) DC.	Brassicaceae	T	EA As Af	rigoliki dvoredac
31	*Duchesnea indica* (Andrews) Focke	Rosaceae	H	As	indijska jagoda
32	*Echinocystis lobata* (Michx.) Torr. et A. Gray	Cucurbitaceae	T	Am	uljna bučica
33	*Egeria densa* Planch.	Hydrocharitaceae	A	Am	gusta egeria
34	*Eleusine indica* (L.) Gaertn.	Poaceae	T	As	eleuzina/indijska proha
35	*Elodea canadensis* Michx.	Hydrocharitaceae	A	Am	kanadska vodena kuga/kanadska vodenkuga
36	*Epilobium ciliatum* Raf.	Onagraceae	H	Am	trepavičava vrbolika
37	*Erigeron annuus* (L.) Desf.	Asteraceae	H	Am	jednogodišnja krasolika/jednogodišnja hudoljetnica
38	*Erigeron annuus* (L.) Pers. ssp. annuus	Asteraceae	H	Am	-
39	*Erigeron annuus* (L.) Pers. ssp. septentrionalis (Fernald et Wiegand) Wagenitz	Asteraceae	H	Am	-
40	*Erigeron annuus* (L.) Pers. ssp. strigosus (Mühlenb. ex Willd.) Wagenitz	Asteraceae	T	Am	-
41	*Euphorbia maculata* L.	Euphorbiaceae	T	Am	pjegava mlječika
42	*Euphorbia prostrata* Aiton	Euphorbiaceae	T	Am	polegla mlječika
43	*Galinsoga ciliata* (Raf.) S. F. Blake	Asteraceae	T	Am	trepavičava konica/sitnocvjetna konica
44	*Galinsoga parviflora* Cav.	Asteraceae	T	Am	konica/sitna konica
45	*Helianthus tuberosus* L.	Asteraceae	G	Am	čičoka/sitna konica/arapska repa/nahodnjak
46	*Impatiens balfourii* Hook. f.	Balsaminaceae	T	As	balfourov nedirak
47	*Impatiens glandulifera* Royle	Balsaminaceae	T	As	žljezdasti nedirak

48	I*mpatiens parviflora* DC.	Balsaminaceae	T	As	sitnocvjetni nedirak
49	*Juncus tenuis* Willd.	Juncaceae	H	Am	nježni sit
50	*Lepidium virginicum* L.	Brassicaceae	T, H	Am	virginska grbica
51	*Ludwigia peploides* (Kunth) P. H. Raven	Onagraceae	A	Am	plutajuća mekčina
52	*Mesembryanthemum crystallinum* L.	Aizoaceae	T	EA	dubac vodeni/ledenica trava/ledak/ledeni čupavac
53	*Mesembryanthemum nodiflorum* L.	Aizoaceae	T	EA	čvorasti čupavac
54	*Nicotiana glauca* Graham	Solanaceae	N	Am	modrozeleni duhan
55	*Oenothera biennis* L.	Onagraceae	H	Am	pupoljica/dvogodišnja pupoljka/noćurak žuti/noćurak
56	*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.	Cactaceae	C	Am	gospina pogača/smokve indijske/opuncija/žabica
57	*Oxalis pes-caprae* L.	Oxalidaceae	G	Af	priklonjeni cecelj
58	*Panicum capillare* L.	Poaceae	T	Am	vlasasto proso
59	*Panicum dichotomiflorum* Michx.	Poaceae	T	Am	kasni proso
60	*Parthenocissus quinquefolia* (L.) Planchon	Vitaceae	P	Am	petolisna lozika/lozica/lozika/divlja loza
61	*Paspalum dilatatum* Poir.	Poaceae	H	Am	prošireni paspalum/prošireni paspalj
62	*Paspalum paspalodes* (Michx.) Scribn.	Poaceae	G	Am	divlji troskot/divlji paspalj
63	*Phytolacca americana* L.	Phytolaccaceae	G	Am	vinobojka/grozdoboja/kermes/američki kermes
64	*Reynoutria japonica* Houtt.	Polygonaceae	G	As	japanski dvornik/japanska rejnutrija
65	*Reynoutria sachalinensis* (F. Schmidt) Nakai	Polygonaceae	G	As	sahalinska rejnutrija
66	*Reynoutria x bohemica* Chrtek et Chrtková	Polygonaceae	G	As, EA, Am	češka rejnutrija
67	*Robinia pseudoacacia* L.	Fabaceae	P	Am	bagrem/trnjina/gacija/akacija/krunčica/prženica
68	*Rudbeckia laciniata* L.	Asteraceae	H	Am	dronjava pupavica
69	*Sicyos angulatus* L.	Cucurbitaceae	T	Am	mlunić/dlakavi krastavac/
70	*Solanum elaeagnifolium* Cav.	Solanaceae	T	Am	zlolesinasta pomoćnica
71	*Solidago canadensis* L.	Asteraceae	H, G	Am	kudjelja/gustocvjetna zlatnica/
72	*Solidago gigantea* Aiton	Asteraceae	H, G	Am	velika zlatnica
73	*Sorghum halepense* (L.) Pers.	Poaceae	G	Af As	piramidalni sirak/kukuruzar/perika/koštrava
74	*Tagetes minuta* L.	Asteraceae	T	Am	mala kadivica
75	*Veronica persica* Poir.	Scrophulariaceae	T	As	perzijska čestoslavica/žičasta čestoslavica

76	*Xanthium spinosum* L.	Asteraceae	T	Am	trnovita dikica/dikica/svinjarica/čičak
77	*Xanthium strumarium* L. ssp. italicum (Moretti) D. Löve	Asteraceae	T	Am	obalna dikica

Prilog II.

Tablica 1. Inventarizacija cjelokupne flore mikrolokacija prikupljanja uzoraka

PORODICA / *Vrsta*	**Životni oblik**	**Trajanje života**	**Florni element**
PTERIDOPHYTA			
ASPLENIACEAE			
*Asplenium ruta-muraria*L.	H	z. traj	euras
Asplenium scolopendrium L. (=*Phyllitis scolopendrium*)	H	z. traj	circ
*Asplenium trichomanes*L.	H	z. traj	cosmop
HYPOLEPIDACEAE			
Pteridium aquilinum (L.) Kuhn	G	z. traj	cosmop
EQUISETACEAE			
Equisetum arvense L.	G	z. traj	cosmop
Equisetum sylvaticum L.	G	z. traj	circ
Equisetum telmateia Ehrh.	G	z. traj	cosmop
SPERMATOPHYTA			
GYMNOSPERMAE			
CUPRESSACEAE			
Thuja occidentalis L.	P	d. traj	am
ANGIOSPERMAE			
DICOTYLEDONES			
ACERACEAE			
*Acer campestre*L.	P	d. traj	eur
*Acer platanoides*L.	P	d. traj	eur
*Acer pseudoplatanus*L.	P	d. traj	sre
AMARANTHACEAE			
Amaranthus retroflexus L.	T	1	cosmop
ANACARDIACEAE			
Rhus typhina L.	P	d. traj	inv (am.)
APIACEAE			
Aegopodium podagraria L.	H	z. traj	euras
Anthriscus sylvestris (L.) Hoffm.	H	z. traj	euras
Daucus carota L.	H	2	euras
*Eryngium campestre*L.	H	z. traj	eur
*Heracleum sphondylium*L.	H	z. traj	euras
Pastinaca sativa L.	H	2	euras
ARALIACEAE			
*Hedera helix*L.	P	d. traj	eur
ASTERACEAE			
*Achillea millefolium*L.	H	z. traj	cosmop
Ambrosia artemisiifolia L.	T	1	inv (am.)
Artemisia vulgaris L.	H	z. traj	cosmop
Bellis perennis L.	H	z. traj	sre
Bidens tripartitus L.	T	1	euras
Buphthalmum salicifolium L.	H	z. traj	sre

Centaurea cyanus L.	T	1	cosmop
Centaurea jacea L.	H	z. traj	euras
Cirsium arvense (L.) Scop.	G	z. traj	cosmop
Cirsium oleraceum (L.) Scop.	H	z. traj	euras
Erigeron annuus (L.) Pers.	H	z. traj	inv (am.)
Galinsoga ciliata(Raf.) S. F. Blake	T	1	inv (am.)
*Galinsoga parviflora*Cav.	T	1	inv (am.)
Helianthus tuberosus L.	G	z. traj	inv (am.)
Leucanthemum vulgare Lam.	H	z. traj	euras
Petasites hybridus (L.) P. Gaertn., B. Mey. et Schreb.	G	z. traj	euras
Santolina chamaecyparissus L.	Ch	d. traj	med
Solidago giganthea Aiton	H	z. traj	inv (am.)
Tanacetum vulgare L.	H	z. traj	euras
Tussilago farfara L.	G	z. traj	euras
BERBERIDACEAE			
Berberis vulgaris L.	P	d. traj	submed
Epimedium alpinum L.	G	z. traj	alp
BETULACEAE			
Alnus glutinosa (L.) Gaertn.	P	d. traj	euras
BORAGINACEAE			
Myosotis scorpioides L. (=*Myosotis palustris)*	H	z. traj	euras
Symphytum officinale L.	H	z. traj	eur
Symphytum tuberosum L.	G	z. traj	jue
BRASSICACEAE			
Alliaria petiolata (M. Bieb.) Cavara et Grande (=*Alliaria officinalis*)	H	z. traj	euras
Armoracia rusticana P. Gaertn. , B. Mey. et Scherb.	H	z. traj	euras
Capsella bursa-pastoris (L.) Medik.	T	1	cosmop
Cardamine bulbifera (L.) Crantz	G	z. traj	eur
Lunaria rediviva L.	H	z. traj	euras
Rorippa sylvestris (L.) Besser	H	z. traj	euras
CAMPANULACEAE			
Campanula trachelium L.	H	z. traj	euras
CANNABACEAE			
*Humulus lupulus*L.	H	z. traj	euras
CAPRIFOLIACEAE			
Sambucus ebulus L.	H	z. traj	euras
Sambucus nigra L.	P	d. traj	eur
Sambucus racemosa L.	P	d. traj	euras
Viburnum lantana L.	P	d. traj	submed
CARYOPHYLLACEAE			
Silene latifolia Poir. *ssp. alba* (Mill.) Greuter et Bourdet (Melandrium album)	H	z. traj	euras
Silene dioica (L.) Clairv. (= Melandrium rubrum)	H	z. traj	euras
Saponaria officinalis L.	H	z. traj	euras
Silene vulgaris (Moench) Garcke	H	z. traj	euras

Stellaria media (L.) Vill	T	1	cosmop
CELASTRACEAE			
Euonymus europaeus L.	P	d. traj	euras
CHENOPODIACEAE			
Chenopodium album L.	T	1	cosmop
CICHORIACEAE			
Cichorium intybus L.	H	z. traj	euras
*Lactuca serriola*L.	T	1	euras
Sonchus arvensis L.	G	z. traj	cosmop
Sonchus oleraceus L.	T	1	cosmop
Taraxacum officinale Wiggers	H	z. traj	cosmop
CONVOLVULACEAE			
Calystegia sepium (L.) R. Br.	H	z. traj	cosmop
Convolvulus arvensis L.	H	z. traj	cosmop
CORNACEAE			
Cornus sanguinea L.	P	d. traj	eur
CORYLACEAE			
Carpinus betulus L.	P	d. traj	sre
Corylus avellana	P	d. traj	eur
CRASSULACEAE			
Sedum acre L.	Ch	z. traj	euras
DIPSACACEAE			
Knautia arvensis (L.) Coult.	H	z. traj	euras
*Knautia drymea*Heuff.	H	z. traj	eur
DIOSCOREACEAE			
Tamus communis L.	G	z. traj	circ
ERICACEAE			
Erica herbacea L.	Ch	d. traj	eur
EUPHORBIACEAE			
Euphorbia cyparissias L.	H	z. traj	eur
Mercurialis annua L.	T	1	submed
FABACEAE			
Anthyllis vulneraria L.	H	z. traj	eur
Chamaecytisus hirsutus (L.) Link (=*Cytisus hirsutus*)	P	d. traj	eur
Coronilla varia L.	H	z. traj	eur
Lotus corniculatus L.	H	z. traj	cosmop
Medicago falcata L.	H	z. traj	euras
Medicago lupulina L.	T	1	euras
Melilotus albus Medik.	T	1	euras
Phaseolus vulgaris L.	T	1	adv
*Robinia pseudoacacia*L.	P	d. traj	inv (am.)
Trifolium patulum Tausch	H	z. traj	eur
Trifolium pratense L.	H	z. traj	euras
Trifolium repens L.	H	z. traj	cosmop
Vicia angustifolia	T	z. traj	cosmop

Vicia cracca L.	H	z. traj	euras
Vicia grandiflora Scop.	T	1	med
FAGACEAE			
*Fagus sylvatica*L.	P	d. traj	submed
Quercus cerris L.	P	d. traj	jue
Quercus pubescens Wild./ *q. petrea*	P	d. traj	submed
GERANIACEAE			
Geranium dissectum L.	T	1	euras
*Geranium molle*L.	T	1	cosmop
*Geranium robertianum*L.	T	1	cosmop
GLOBULARIACEAE			
Globularia punctata Lapeyr.	H	z. traj	circ
HYPERICACEAE			
*Hypericum perforatum*L.	H	z. traj	euras
LAMIACEAE			
*Ajuga reptans*L.	H	z. traj	euras
Betonica officinalis L.	H	z. traj	euras
*Glechoma hederacea*L.	H	z. traj	circ
Lamium galeobdolon (L.) Crantz *(=luteum)*	H	z. traj	eur
Lamium maculatum L.	H	z. traj	euras
Lamium orvala L.	H	z. traj	euras
Lamium purpureum L.	T	1	euras
Mentha longifolia (L.) L.	H	z. traj	cosmop
Prunella vulgaris L.	H	z. traj	cosmop
Salvia glutinosa L.	H	z. traj	eur
Salvia pratensis L.	H	z. traj	submed
Stachys palustris L.	H	z. traj	circ
Stachys sylvatica L.	H	z. traj	euras
Teucrium chamaedrys L.	Ch	z. traj	submed
Teucrium montanum L.	Ch	z. traj	submed
Thymus pulegioides L.	Ch	z. traj	eur
LYTHRACEAE			
Lythrum salicaria L.	H	z. traj	circ
MALVACEAE			
Abutilon theoprasti Med.	T	1	jue
Malva sylvestris L.	H	z. traj	eur
OLEACEAE			
Fraxinus ornus L.	P	d. traj	jue
Ligustrum vulgare L.	P	d. traj	euras
OXALIDACEAE			
Oxalis dillenii Jacq.	T	1	adv (am.)
PAPAVERACEAE			
Chelidonium majus L.	H	z. traj	euras
PLANTAGINACEAE			
Plantago lanceolata L.	H	z. traj	cosmop

Plantago major L.	H	z. traj	cosmop
Plantago media L.	H	z. traj	euras
POLYGALACEAE			
Polygala vulgaris L.	H	z. traj	euras
POLYGONACEAE			
Polygonum aviculare L.	T	1	cosmop
Polygonum lapathifolium L.	T	1	cosmop
Polygonum persicaria L.	T	1	cosmop
Reynoutria japonica Houtt.	G	z. traj	inv (az.)
Rumex acetosa L.	H	z. traj	cosmop
Rumex crispus L.	H	z. traj	cosmop
Rumex obtusifolius L.	H	z. traj	euras
PRIMULACEAE			
Anagallis arvensis L.	T	1	cosmop
Lysimachia punctata L.	H	z. traj	adv (am.)
Primula vulgaris Huds.	H	z. traj	jue
RANUNCULACEAE			
Caltha palustris L.	H	z. traj	cosmop
Clematis vitalba L.	P	d. traj	sre
Ranunculus acris L.	H	z. traj	cosmop
Ranunculus ficaria L.	G	z. traj	sre
Ranunculus lanuginosus L.	H	z. traj	submed
Ranunculus repens L.	H	z. traj	sre
ROSACEAE			
Crataegus monogyna Jacq.	P	d. traj	euras
*Fragaria vesca*L.	H	z. traj	euras
*Geum urbanum*L.	H	z. traj	cosmop
Potentilla reptans L.	H	z. traj	cosmop
Prunus avium (L.) L.	P	d. traj	kult
Rosa canina L.	P	d. traj	cosmop
Rubus caesius L.	Ch	d. traj	euras
Rubus discolor Weihe et Ness	P	d. traj	
Rubus plicatus Weihe et Nees	P	d. traj	euras
Sorbus aria (L.) Crantz	P	d. traj	euras
Sorbus aucuparia L.	P	d. traj	euras
RUBIACEAE			
Galium aparine L.	T	1	cosmop
*Galium mollugo*L.	H	z. traj	euras
Galium verum L.	H	z. traj	cosmop
SCROPHULARIACEAE			
Rhinanthus alectorolophus (Scop.) Pollich	T	1	eur
Verbascum blattaria L.	H	2	eur
Veronica chamaedrys L.	Ch	z. traj	euras
Veronica persica L.	T	1	inv (am.)
SIMAROUBACEAE			

Ailanthus altissima (Mill.) Swingle	P	d. traj	inv (az.)
SOLANACEAE			
Datura stramonium L.	T	1	inv (am.)
Solanum nigrum L.	T	1	cosmop
Solanum tuberosum	G	z. traj	adv (am.)
STAPHYLEACEAE			
Staphylea pinnata L.	P	d. traj	euras
TILIACEAE			
Tilia platyphyllos Scop.	P	d. traj	euras
ULMACEAE			
Ulmus glabra Huds	P	d. traj	euras
URTICACEAE			
Urtica dioica L.	H	z. traj	cosmop
VERBENACEAE			
Verbena officinalis L.	T	1	cosmop
VIOLACEAE			
Viola arvensis Murr	T	1	eur
VITACEAE			
Parthenocissus quinquefolia (L.) Planchon	P	d. traj	inv (am.)
AMARYLLIDACEAE			
Allium ursinum L.	G	z. traj	euras
ORCHIDACEAE			
Listera ovata (L.) R. Br.	G	z. traj	euras
Neottia nidus-avis (L.) Rich.	G	z. traj	euras
Orchis purpurea	G	z. traj	euras
POACEAE			
Arrhenatherum elatius (L.) J. Presl et C. Presl	H	z. traj	eur
Bromus sterilis L.	T	1	cosmop
Dactylis glomerata L.	H	z. traj	euras
Elymus repens (L.) Gould	G	z. traj	euras
Festuca pratensis Huds.	H	z. traj	euras
*Holcus lanatus*L.	H	z. traj	euras
Lolium perenne L.	H	z. traj	cosmop
Poa pratensis L.	H	z. traj	circ
Sesleria tenuifolia ssp. kalnikensis (Jav.) Deyl	H	z. traj	ilrb
Setaria pumila (Poir.) Roem. et Schult.	T	1	cosmop
Setaria verticillata (L.) P. Beauv.	T	1	cosmop
Sorghum halepense (L.) Pers.	G	z. traj	cosmop
Zea mays	P	1	adv (am.)

Prilog III.

Tablica 1-12. Tablice Pearsonovih koeficijenata korelacije (r) i p-vrijednosti (+ p<0.01; * p<0.05; ** p<0.10) za analizirane parametre funkcionalne i energetske vrijednosti drvenastih i zeljastih invazivnih biljnih vrsta

Tablica 1. Korelacije parametara funkcionalne vrijednosti i gorivih tvari **drvenastih** invazivnih biljnih vrsta (n_d=3)

	ST	HT	C	S	H	O	AsA	UPH	UNF	UF	ChA	ChB	ChU	CaU	ABTS
ST	1,00														
HT	0,98	1,00													
C	0,95	0,86	1,00												
S	-0,73	-0,86	-0,47	1,00											
H	0,06	0,26	-0,27	-0,72	1,00										
O	-0,96	-0,88	-1,00*	0,50	0,23	1,00									
AsA	0,37	0,17	0,65	0,36	-0,90	-0,62	1,00								
UPH	0,54	0,35	0,78	0,19	-0,81	-0,76	0,98	1,00							
UNF	0,10	-0,11	0,41	0,61	-0,99	-0,38	0,96	0,89	1,00						
UF	0,43	0,61	0,12	-0,93	0,93	-0,15	-0,68	-0,53	-0,86	1,00					
ChA	0,92	0,81	1,00	-0,40	-0,35	-0,99	0,71	0,83	0,48	0,03	1,00				
ChB	0,69	0,83	0,43	-1,00*	0,76	-0,46	-0,41	-0,24	-0,65	0,95	0,35	1,00			
ChU	0,85	0,94	0,64	-0,98	0,57	-0,67	-0,17	0,02	-0,44	0,84	0,57	0,97	1,00		
CaU	0,57	0,73	0,28	-0,98	0,85	-0,31	-0,55	-0,38	-0,76	0,99	0,20	0,99	0,92	1,00	
ABTS	-0,89	-0,78	-0,99	0,35	0,40	0,99	-0,75	-0,86	-0,53	0,02	-1,00*	-0,30	-0,53	-0,15	1,00

Statistička značajnost: + p<0.01; * p<0.05; ** p<0.10 [ST – suha tvar, HT – hlapljive tvari, C – ugljik, S – sumpor, H – vodik, O – kisik, AsA - askorbinska kiselina, UPH - ukupni fenolni spojevi, UNF - ukupni neflavonoidi, UF - ukupni flavonoidi, ABTS - antioksidacijski kapacitet]

Tablica 2. Korelacije funkcionalne vrijednosti i gorivih tvari **zeljastih** invazivnih biljnih vrsta (n_z=9)

	ST	HT	C	S	H	O	AsA	UPH	UNF	UF	ChA	ChB	ChU	CaU	ABTS
ST	1,00														
HT	0,69*	1,00													
C	0,71*	0,73*	1,00												
S	-0,75*	-0,28	-0,48	1,00											
H	0,64	0,72*	0,98+	-0,34	1,00										
O	-0,45	-0,62	-0,93+	0,24	-0,95+	1,00									
AsA	-0,44	0,08	0,11	0,32	0,16	-0,42	1,00								
UPH	0,58	0,46	0,70*	-0,59	0,65	-0,69*	0,20	1,00							
UNF	0,75*	0,46	0,69*	-0,71*	0,63	-0,57	-0,14	0,94+	1,00						
UF	0,22	0,36	0,57	-0,30	0,55	-0,72*	0,64	0,88+	0,66	1,00					
ChA	-0,28	-0,49	-0,21	-0,30	-0,29	0,21	0,14	-0,26	-0,32	-0,12	1,00				
ChB	0,46	0,28	0,67*	-0,51	0,65	-0,59	0,05	0,21	0,22	0,16	0,46	1,00			
ChU	0,13	-0,09	0,30	-0,48	0,25	-0,25	0,11	-0,01	-0,04	0,03	0,83+	0,87+	1,00		
CaU	-0,16	-0,57	-0,40	-0,46	-0,51	0,40	0,01	0,12	0,10	0,14	0,65	-0,08	0,30	1,00	
ABTS	-0,10	-0,59	-0,28	-0,32	-0,33	0,22	-0,01	0,32	0,31	0,27	0,28	-0,16	0,05	0,82+	1,00

Statistička značajnost: + p<0.01; * p<0.05; ** p<0.10 [ST – suha tvar, HT – hlapljive tvari, C – ugljik, S – sumpor, H – vodik, O – kisik, AsA - askorbinska kiselina, UPH - ukupni fenolni spojevi, UNF - ukupni neflavonoidi, UF - ukupni flavonoidi, ABTS - antioksidacijski kapacitet]

Tablica 3**.** Korelacije funkcionalne vrijednosti i negorivih tvari **drvenastih** invazivnih biljnih vrsta (n_d=3)

	PE	KO	CF	N	AsA	UPH	UNF	UF	ChA	ChB	ChU	CaU	ABTS
PE	1,00												
KO	0,90	1,00											
CF	0,13	0,54	1,00										
N	0,85	0,99	0,64	1,00									
AsA	0,44	0,01	-0,84	-0,11	1,00								
UPH	0,27	-0,17	-0,92	-0,29	0,98	1,00							
UNF	0,68	0,29	-0,65	0,18	0,96	0,89	1,00						
UF	-0,96	-0,74	0,16	-0,66	-0,68	-0,53	-0,86	1,00					
ChA	-0,32	-0,69	-0,98	-0,77	0,71	0,83	0,48	0,03	1,00				
ChB	-1,00*	-0,92	-0,16	-0,86	-0,41	-0,24	-0,65	0,95	0,35	1,00			
ChU	-0,96	-0,99	-0,40	-0,96	-0,17	0,02	-0,44	0,84	0,57	0,97	1,00		
CaU	-0,99	-0,84	0,00	-0,77	-0,55	-0,38	-0,76	0,99	0,20	0,99	0,92	1,00	
ABTS	0,27	0,65	0,99	0,74	-0,75	-0,86	-0,53	0,02	-1,00*	-0,30	-0,53	-0,15	1,00

Statistička značajnost: + p<0.01; * p<0.05; ** p<0.10 [PE – pepeo, KO – koks, CF – fiksirani ugljik, N – dušik, AsA - askorbinska kiselina, UPH - ukupni fenolni spojevi, UNF - ukupni neflavonoidi, UF - ukupni flavonoidi, ABTS - antioksidacijski kapacitet]

Tablica 4. Korelacije funkcionalne i negorivih tvari **zeljastih** invazivnih biljnih vrsta (n_z=9)

	PE	KO	CF	N	AsA	UPH	UNF	UF	ChA	ChB	ChU	CaU	ABTS
PE	1,00												
KO	0,84^{+}	1,00											
CF	-0,80^{+}	-0,35	1,00										
N	0,41	0,41	-0,25	1,00									
AsA	-0,21	-0,19	0,16	0,73*	1,00								
UPH	-0,74*	-0,54	0,68*	-0,21	0,20	1,00							
UNF	-0,68*	-0,50	0,63	-0,48	-0,14	0,94^{+}	1,00						
UF	-0,67	-0,48	0,61	0,21	0,64	0,88^{+}	0,66	1,00					
ChA	0,28	0,48	0,04	0,11	0,14	-0,26	-0,32	-0,12	1,00				
ChB	-0,55	-0,32	0,60	-0,41	0,05	0,21	0,22	0,16	0,46	1,00			
ChU	-0,19	0,06	0,40	-0,19	0,11	-0,01	-0,04	0,03	0,83^{+}	0,87^{+}	1,00		
CaU	0,40	0,54	-0,10	0,17	0,01	0,12	0,10	0,14	0,65	-0,08	0,30	1,00	
ABTS	0,33	0,52	-0,02	0,28	-0,01	0,32	0,31	0,27	0,28	-0,16	0,05	0,82^{+}	1,00

Statistička značajnost: + p<0.01; * p<0.05; ** p<0.10 [PE – pepeo, KO – koks, CF – fiksirani ugljik, N – dušik, AsA - askorbinska kiselina, UPH - ukupni fenolni spojevi, UNF - ukupni neflavonoidi, UF - ukupni flavonoidi, ABTS - antioksidacijski kapacitet]

Tablica 5. Korelacije funkcionalne vrijednosti i lignoceluloznog sastava **drvenastih** invazivnih biljnih vrsta (n_d=3)

	CEL	HEM	LIG	AsA	UPH	UNF	UF	ChA	ChB	ChU	CaU	ABTS
CEL	1,00											
HEM	0,99	1,00										
LIG	0,97	0,93	1,00									
AsA	-0,95	-0,98	-0,84	1,00								
UPH	-0,88	-0,93	-0,73	0,98	1,00							
UNF	-1,00*	-1,00	-0,96	0,96	0,89	1,00						
UF	0,88	0,81	0,97	-0,68	-0,53	-0,86	1,00					
ChA	-0,46	-0,56	-0,22	0,71	0,83	0,48	0,03	1,00				
ChB	0,68	0,58	0,84	-0,41	-0,24	-0,65	0,95	0,35	1,00			
ChU	0,47	0,35	0,68	-0,17	0,02	-0,44	0,84	0,57	0,97	1,00		
CaU	0,78	0,70	0,91	-0,55	-0,38	-0,76	0,99	0,20	0,99	0,92	1,00	
ABTS	0,50	0,61	0,27	-0,75	-0,86	-0,53	0,02	-1,00*	-0,30	-0,53	-0,15	1,00

Statistička značajnost: + p<0.01; * p<0.05; ** p<0.10 [CEL – celuloza, HEM – hemiceluloza, LIG – lignin, AsA - askorbinska kiselina, UPH - ukupni fenolni spojevi, UNF - ukupni neflavonoidi, UF - ukupni flavonoidi, ABTS - antioksidacijski kapacitet]

Tablica 6. Korelacije funkcionalne vrijednosti i lignoceluloznog sastava **zeljastih** invazivnih biljnih vrsta (n_z=9)

	CEL	HEM	LIG	AsA	UPH	UNF	UF	ChA	ChB	ChU	CaU	ABTS
CEL	1,00											
HEM	0,67	1,00										
LIG	-0,39	-0,51	1,00									
AsA	-0,53	-0,22	0,64	1,00								
UPH	0,34	-0,06	0,15	0,20	1,00							
UNF	0,52	0,02	-0,06	-0,14	0,94+	1,00						
UF	0,01	-0,16	0,42	0,64	0,88+	0,66	1,00					
ChA	-0,15	-0,06	-0,13	0,14	-0,26	-0,32	-0,12	1,00				
ChB	0,34	0,02	0,16	0,05	0,21	0,22	0,16	0,46	1,00			
ChU	0,13	-0,02	0,03	0,11	-0,01	-0,04	0,03	0,83+	0,87+	1,00		
CaU	-0,23	-0,25	-0,39	0,01	0,12	0,10	0,14	0,65	-0,08	0,30	1,00	
ABTS	-0,39	-0,65	-0,10	-0,01	0,32	0,31	0,27	0,28	-0,16	0,05	0,82+	1,00

Statistička značajnost: + p<0.01; * p<0.05; ** p<0.10 [CEL – celuloza, HEM – hemiceluloza, LIG – lignin, AsA - askorbinska kiselina, UPH - ukupni fenolni spojevi, UNF - ukupni neflavonoidi, UF - ukupni flavonoidi, ABTS - antioksidacijski kapacitet]

Tablica 7. Korelacije funkcionalne vrijednosti i makroelemenata kod **drvenastih** invazivnih biljnih vrsta (n_d=3)

	Ca	K	Mg	Na	AsA	UPH	UNF	UF	ChA	ChB	ChU	CaU	ABTS
Ca	1												
K	-0.71	1											
Mg	-0.70	1.00^{+}	1										
Na	-0.95	0.90	0.90	1									
AsA	-0.61	-0.13	-0.14	0.32	1								
UPH	-0.45	-0.31	-0.31	0.14	0.98	1							
UNF	-0.81	0.15	0.15	0.57	0.96	0.89	1						
UF	1.00	-0.64	-0.64	-0.91	-0.68	-0.53	-0.86	1					
ChA	0.12	-0.79	-0.79	-0.44	0.71	0.83	0.48	0.03	1				
ChB	0.97	-0.85	-0.85	-1.00	-0.41	-0.24	-0.65	0.95	0.35	1			
ChU	0.88	-0.96	-0.95	-0.99	-0.17	0.02	-0.44	0.84	0.57	0.97	1		
CaU	1.00*	-0.76	-0.76	-0.97	-0.55	-0.38	-0.76	0.99	0.20	0.99	0.92	1	
ABTS	-0.07	0.76	0.76	0.39	-0.75	-0.86	-0.53	0.02	-1.00*	-0.30	-0.53	-0.15	1

Statistička značajnost: + p<0.01; * p<0.05; ** p<0.10 [AsA - askorbinska kiselina, UPH - ukupni fenolni spojevi, UNF - ukupni neflavonoidi, UF - ukupni flavonoidi, ABTS - antioksidacijski kapacitet]

Tablica 8. Korelacije funkcionalne vrijednosti i makroelemenata kod **zeljastih** invazivnih biljnih vrsta (n_z=9)

	Ca	K	Mg	Na	AsA	UPH	UNF	UF	ChA	ChB	ChU	CaU	ABTS
Ca	1												
K	0.77*	1											
Mg	0.85^{+}	0.83^{+}	1										
Na	0.81^{+}	0.55	0.89^{+}	1									
AsA	-0.45	0.07	-0.20	-0.46	1								
UPH	-0.77*	-0.57	-0.73*	-0.71*	0.20	1							
UNF	-0.63	-0.61	-0.68*	-0.57	-0.14	0.94^{+}	1						
UF	-0.80*	-0.39	-0.65	-0.76*	0.64	0.88^{+}	0.66	1					
ChA	0.10	0.20	0.0	0.26	0.14	-0.26	-0.32	-0.12	1				
ChB	-0.52	-0.57	-0.39	-0.40	0.05	0.21	0.22	0.16	0.46	1			
ChU	-0.27	-0.25	-0.02	-0.11	0.11	-0.01	-0.04	0.03	0.83^{+}	0.87^{+}	1		
CaU	0.22	0.40	0.43	0.29	0.01	0.12	0.10	0.14	0.65	-0.08	0.30	1	
ABTS	0.19	0.41	0.39	0.22	-0.01	0.32	0.31	0.27	0.28	-0.16	0.05	0.82^{+}	1

Statistička značajnost: + p<0.01; * p<0.05; ** p<0.10 [AsA - askorbinska kiselina, UPH - ukupni fenolni spojevi, UNF - ukupni neflavonoidi, UF - ukupni flavonoidi, ABTS - antioksidacijski kapacitet]

Tablica 9. Korelacije funkcionalne vrijednosti sa mikroelementima i teškim metalima kod **drvenastih** invazivnih biljnih vrsta (n_d=3)

	Fe	Zn	Cu	Mn	Mo	Pb	Cr	Ni	Cd	Co	Hg	AsA	UPH	UNF	UF	ChA	ChB	ChU	CaU	ABTS
Fe	1																			
Zn	-0.10	1																		
Cu	-0.23	-0.95	1																	
Mn	0.32	-0.97	0.85	1																
Mo	-0.23	-0.94	1.00+	0.85	1															
Pb	-0.23	-0.95	1.00+	0.85	1.00+	1														
Cr	0.99	0.00	-0.33	0.22	-0.33	-0.33	1													
Ni	0.08	-1.00*	0.95	0.97	0.95	0.95	-0.02	1												
Cd	0.45	-0.93	0.76	0.99	0.76	0.77	0.36	0.92	1											
Co	0.42	-0.94	0.79	0.99	0.78	0.79	0.33	0.94	1.00*	1										
Hg	0.40	-0.95	0.80	1.00	0.80	0.80	0.31	0.94	1.00*	1.00*	1									
AsA	-0.99	0.22	0.11	-0.43	0.12	0.11	-0.98	-0.19	-0.55	-0.53	-0.51	1								
UPH	-0.96	0.39	-0.07	-0.58	-0.06	-0.07	-0.92	-0.37	-0.70	-0.67	-0.65	0.98	1							
UNF	-0.99	-0.07	0.39	-0.15	0.39	0.39	-1.00*	0.09	-0.29	-0.26	-0.24	0.96	0.89	1						
UF	0.76	0.57	-0.81	-0.38	-0.81	-0.81	0.82	-0.59	-0.24	-0.27	-0.29	-0.68	-0.53	-0.86	1					
ChA	-0.63	0.84	-0.61	-0.94	-0.62	-0.62	-0.54	-0.83	-0.98	-0.97	-0.97	0.71	0.83	0.48	0.03	1				
ChB	0.51	0.80	-0.95	-0.65	-0.95	-0.95	0.60	-0.82	-0.53	-0.56	-0.58	-0.41	-0.24	-0.65	0.95	0.35	1			
ChU	0.28	0.93	-1.00*	-0.82	-1.00*	-1.00*	0.38	-0.936	-0.73	-0.75	-0.77	-0.17	0.2	-0.44	0.84	0.57	0.97	1		
CaU	0.64	0.70	0.89	-0.52	-0.90	-0.89	0.71	-0.72	-0.40	-0.43	-0.45	-0.55	-0.38	-0.76	0.99	0.20	0.99	0.92	1	
ABTS	0.67	-0.81	0.57	0.92	0.57	0.57	0.59	0.79	0.97	0.96	0.95	-0.74	-0.86	-0.53	0.02	-1.00*	-0.30	-0.53	-0.15	1

Statistička značajnost: + p<0.01; * p<0.05; ** p<0.10 [AsA - askorbinska kiselina, UPH - ukupni fenolni spojevi, UNF - ukupni neflavonoidi, UF - ukupni flavonoidi, ABTS - antioksidacijski kapacitet]

Tablica 10. Korelacije funkcionalne vrijednosti sa mikroelementima i teškim metalima kod **zeljastih** invazivnih biljnih vrsta (n_z=9)

	Fe	Zn	Cu	Mn	Mo	Pb	Cr	Ni	Cd	Co	Hg	AsA	UPH	UNF	UF	ChA	ChB	ChU	CaU	ABTS
Fe	1																			
Zn	0.54	1																		
Cu	0.19	0.83+	1																	
Mn	0.88+	0.68*	0.44	1																
Mo	-0.16	0.26	0.40	0.18	1															
Pb	-0.19	0.23	0.39	0.16	1.00+	1														
Cr	0.54	1.00+	0.83+	0.68*	0.26	0.23	1													
Ni	-0.18	0.26	0.89	0.17	1.00+	1.00+	0.26	1												
Cd	0.45	0.98+	0.88+	0.64	0.40	0.37	0.98+	0.39	1											
Co	0.43	0.98+	0.88+	0.62	0.42	0.39	0.98+	0.41	1.00+	1										
Hg	0.42	0.98+	0.87+	0.61	0.42	0.39	0.98+	0.41	1.00+	1.00+	1									
AsA	-0.34	0.09	0.24	-0.31	0.05	0.03	0.09	0.04	0.14	0.16	0.17	1								
UPH	-0.80+	-0.18	0.26	-0.63	0.23	0.26	-0.18	0.25	-0.08	-0.07	-0.07	0.20	1							
UNF	-0.71*	-0.24	0.15	-0.55	0.24	0.27	-0.24	0.27	-0.15	-0.15	-0.15	-0.14	0.94+	1						
UF	-0.77*	-0.06	0.36	-0.62	0.17	0.18	-0.06	0.18	0.04	0.06	0.06	0.64	0.88+	0.66	1					
ChA	0.11	0.07	0.13	0.42	0.21	0.20	0.07	0.21	0.08	0.11	0.11	0.14	-0.26	-0.32	-0.12	1				
ChB	-0.57	-0.45	-0.22	-0.31	0.48	0.51	-0.45	0.49	-0.37	-0.34	-0.34	0.05	0.21	0.22	0.16	0.46	1			
ChU	-0.30	-0.24	-0.07	0.04	0.42	0.43	-0.25	0.42	-0.19	-0.16	-0.16	0.11	-0.01	-0.04	0.03	0.83+	0.87+	1		
CaU	0.19	0.35	0.54	0.51	0.25	0.24	0.35	0.26	0.41	0.41	0.40	0.01	0.12	0.10	0.14	0.65	-0.08	0.30	1	
ABTS	0.18	0.44	0.75*	0.46	0.40	0.40	0.44	0.41	0.53	0.51	0.49	-0.01	0.32	0.31	0.27	0.28	-0.16	0.05	0.82+	1

Statistička značajnost: + p<0.01; * p<0.05; ** p<0.10 [AsA - askorbinska kiselina, UPH - ukupni fenolni spojevi, UNF - ukupni neflavonoidi, UF - ukupni flavonoidi, ABTS - antioksidacijski kapacitet]

Tablica 11. Korelacije funkcionalne vrijednosti i ogrjevnih vrijednosti **drvenastih** invazivnih biljnih vrsta (n_d=3)

	HHV	LHV	AsA	UPH	UNF	UF	ChA	ChB	ChU	CaU	ABTS
HHV	1,00										
LHV	0,96	1,00									
AsA	0,32	0,57	1,00								
UPH	0,49	0,71	0,98	1,00							
UNF	0,04	0,31	0,96	0,89	1,00						
UF	0,48	0,22	-0,68	-0,53	-0,86	1,00					
ChA	0,89	0,98	0,71	0,83	0,48	0,03	1,00				
ChB	0,73	0,52	-0,41	-0,24	-0,65	0,95	0,35	1,00			
ChU	0,88	0,71	-0,17	0,02	-0,44	0,84	0,57	0,97	1,00		
CaU	0,62	0,38	-0,55	-0,38	-0,76	0,99	0,20	0,99	0,92	1,00	
ABTS	-0,87	-0,97	-0,75	-0,86	-0,53	0,02	-1,00*	-0,30	-0,53	-0,15	1,00

Statistička značajnost: + p<0.01; * p<0.05; ** p<0.10 [HHV - gornja ogrjevna vrijednost, LHV - donja ogrjevna vrijednost, AsA - askorbinska kiselina, UPH - ukupni fenolni spojevi, UNF - ukupni neflavonoidi, UF - ukupni flavonoidi, ABTS - antioksidacijski kapacitet]

Tablica 12. Korelacije funkcionalne vrijednosti i ogrjevnih vrijednosti **zeljastih** invazivnih biljnih vrsta (n_z=9)

	HHV	LHV	AsA	UPH	UNF	UF	ChA	ChB	ChU	CaU	ABTS
HHV	1,00										
LHV	1,00+	1,00									
AsA	0,23	0,22	1,00								
UPH	0,71*	0,71*	0,20	1,00							
UNF	0,65	0,65	-0,14	0,94+	1,00						
UF	0,64	0,64	0,64	0,88+	0,66	1,00					
ChA	-0,21	-0,20	0,14	-0,26	-0,32	-0,12	1,00				
ChB	0,65	0,65	0,05	0,21	0,22	0,16	0,46	1,00			
ChU	0,30	0,30	0,11	-0,01	-0,04	0,03	0,83+	0,87+	1,00		
CaU	-0,40	-0,40	0,01	0,12	0,10	0,14	0,65	-0,08	0,30	1,00	
ABTS	-0,27	-0,27	-0,01	0,32	0,31	0,27	0,28	-0,16	0,05	0,82+	1,00

Statistička značajnost: + p<0.01; * p<0.05; ** p<0.10 [HHV - gornja ogrjevna vrijednost, LHV - donja ogrjevna vrijednost, AsA - askorbinska kiselina, UPH - ukupni fenolni spojevi, UNF - ukupni neflavonoidi, UF - ukupni flavonoidi, ABTS - antioksidacijski kapacitet]