



Univerza v Ljubljani  
*Pedagoška* fakulteta



BIC  
LJUBLJANA



Univerza v Ljubljani  
*Biotehniška* fakulteta



**DiSSI**  
Diversity in Science  
towards Social Inclusion

## Alelopatske lastnosti alkaloidov in ostalih sekundarnih metabolitov v plodovih črnega poprovca (*Piper nigrum* L.)

### TEORETIČNO – RAZISKOVALNA NALOGA

Zunanji mentor:  
asist. Matej VOŠNJAK, mag. inž. hort.

Zunanji mentor:  
asist. Miha SLAPNIČAR, prof. kem., biol.

Šolska mentorica:  
Darja RIZMAL, prof. kem., biol.

Avtorice:  
Kim KNEISEL  
Gaja MRZELJ  
Lara PETRIČ

Ljubljana, april 2021

## POVZETEK

Črni poprovec (*Piper nigrum* L.) je večletna lesnata ovijalka, ki spada v družino poprovc (Piperaceae). Zaradi uporabnosti njenih plodov so jo začeli gojiti v jugozahodni regiji Indije. Skozi zgodovino je poper veljal za najprestižnejšo začimbo, danes pa je črni poper trgovsko najbolj razširjena začimba na svetu. Po svetu poznajo že več kot 40 različnih sort. Te se med seboj razlikujejo po velikosti listov, dolžini socvetij, lastnostih plodov, odpornosti na škodljivce in bolezni ter parametrih kakovosti in rodnosti. Težave pri pridelavi črnega poprovca povzročajo razne bolezni in škodljivci, predvsem žuželke. Glede na način obdelave plodov črnega poprovca ločimo črni, zeleni in beli poper. Ti se med seboj razlikujejo v več fizikalnih in kemijskih lastnostih. Različne dele rastline uporabljajo zaradi visoke vsebnosti sekundarnih metabolitov kot zdravila, konzervanse in naravna sredstva s široko uporabo. Izmed sekundarnih metabolitov je v plodovih črnega poprovca najbolj zastopan alkaloid piperin, ki jim daje njihovo ostrino. Piperin ima tudi več drugih bioloških lastnosti, med drugimi bi ga lahko uporabili pri kontroli invazivnih rastlinskih vrst, ki v svetu in Sloveniji predstavljajo problem. V teoretično-raziskovalni nalogi smo pregledali obstoječe raziskave o potencialno alelopatskih lastnostih črnega poprovca in piperina ter na podlagi tega preučili, kako bi v prihodnosti lahko uporabljali pripravke iz plodov črnega poprovca za kontrolo invazivnih rastlin. S tem bi lahko zmanjšali uporabo fitofarmaceutskih sredstev, zmanjšali vpliv škodljivih snovi na okolje, stroške pridelave, izboljšala bi se varnost hrane, biotična raznolikost, produktivnost tal in vzdržnost kmetijstva. Uporaba rastlinskih ekstraktov iz plodov črnega poprovca bi lahko predstavljala alternativo pogosto uporabljenim sintetičnim pesticidom ter bi s tem nekoliko omejili okoljske težave, povezane z njihovo uporabo, poleg tega pa bi zmanjšali stroške, ki nastajajo zaradi gospodarske škode, ki jo povzročajo invazivne rastlinske vrste.

**Ključne besede:** črni poprovec, alkaloidi, piperin, tujerodne invazivne rastlinske vrste, alelopatija

## ABSTRACT

Black pepper (*Piper nigrum* L.) is a woody perennial coiled plant belonging to the pepper family (Piperaceae). Due to the usefulness of its fruits, it began to be cultivated in the southwestern region of India. Throughout history, pepper has been considered the most valuable spice, and today black pepper is the most traded spice in the world. More than 40 different varieties are already known worldwide. These differ in leaf size, inflorescence length, fruit characteristics, resistance to pests and diseases, and quality and fertility parameters. Problems in black pepper production are caused by various diseases and pests, especially insects. Depending on how the black pepper fruits are processed, they are classified as black, green and white pepper. These differ from each other in several physical and chemical properties. Various parts of the plant are used as medicines, preservatives and natural remedies with wide applications due to the high content of secondary metabolites. Of the secondary metabolites, the alkaloid piperine is most abundant in the fruits of black pepper and gives them their pungency. Piperine also has some other biological properties, among others it could be used in the control of invasive plant species, which is a problem in the world and in Slovenia. In the theoretical research project, we reviewed existing research on the potential allelopathic properties of black pepper and piperine, and based on this, we investigated how preparations from the fruit of black pepper could be used to control invasive plants in the future. This could reduce the use of pesticides, reduce the impact of pollutants on the environment and production costs, and improve food safety, biodiversity, soil productivity and agricultural sustainability. The use of plant extracts from black pepper fruits could be an alternative to commonly used synthetic pesticides, thus limiting somewhat the environmental problems associated with their use and reducing the costs of economic damage caused by invasive plant species.

**Keywords:** black pepper, alkaloids, piperine, invasive plants, allelopathy

## KAZALO VSEBINE

	str.
POVZETEK	II
ABSTRACT	III
KAZALO VSEBINE	IV
KAZALO SLIK	VI
KAZALO PREGLEDNIC	VIII
<b>1 RAZISKOVALNI PROBLEM IN NAMEN TEORETIČNO- RAZISKOVALNE NALOGE</b>	<b>1</b>
<b>2 ČRNI POPROVEC (<i>PIPER NIGRUM</i> L.)</b>	<b>3</b>
2.1 Opis rastline	3
2.2 Zgodovina	4
2.3 Pridelava po svetu	4
2.4 Tehnologija pridelave	5
2.5 Obdelava plodov	8
2.6 Vsebnost snovi	9
2.6.1 SEKUNDARNI METABOLITI	11
2.7 Uporabna vrednost plodov	12
<b>3 ALKALOIDI</b>	<b>14</b>
3.1 Delitev alkaloidov glede na biosintezni izvor	17
3.2 Delitev alkaloidov glede na kemijsko zgradbo	18
3.3 Delitev alkaloidov glede na farmakološke učinke spojin	21
3.4 Dokazne obarjalne reakcije za alkaloidne	21
<b>4 PIPERIN</b>	<b>23</b>
4.1 Biosinteza piperina	25
4.2 Laboratorijska sinteza	26
4.3 Piperin kot »bioojačevalec«	28
4.4 Antioksidativna aktivnost piperina	29
4.5 Protirakava aktivnost piperina	29
4.6 Antidepresivne aktivnosti piperina	29
<b>5 TUJERODNE INVAZIVNE VRSTE</b>	<b>30</b>
5.1 Problem tujerodnih invazivnih rastlin	30
5.1.1 EKOSISTEMSKA ŠKODLJIVOST	30
5.1.2 ŠKODLJIVOST ZA ZDRAVJE LJUDI IN ŽIVALI	30

5.1.3	ŠKODLJIVOST V KMETIJSKI PRIDELAVI	31
5.2	<b>Pozitivni vplivi tujerodnih vrst</b>	31
5.3	<b>Kako postane rastlina invazivna</b>	31
5.4	<b>Širjenje invazivnih tujerodnih vrst</b>	32
5.5	<b>Ukrepi za odstranjevanje in nadzod</b>	32
5.5.1	OZAVEŠČANJE	32
5.5.2	UKREPI ZA ZATIRANJE INVAZIVNIH RASTLIN	32
5.6	<b>Vplivi in posledice razraščanja invazivnih vrst</b>	33
5.7	<b>Napovedovanje invazivnosti</b>	33
5.8	<b>Izbrane tujerodne invazivne rastline</b>	35
5.8.1	JAPONSKI DRESNIK ( <i>Fallopia japonica</i> (Houtt.) Ronse Decraene)	35
5.8.2	ZLATA ROZGA ( <i>Solidago</i> spp.)	38
5.8.2.1	Kanadska zlata rozga ( <i>Solidago canadensis</i> L.)	40
5.8.2.2	Orjaška zlata rozga ( <i>Solidago gigantea</i> Aiton.)	41
5.8.3	KALINOLISTNI POKALEC ( <i>Physocarpus opulifolius</i> (L.) Maxim.)	42
<b>6</b>	<b>ALELOPATIJA</b>	44
6.1	<b>Alelokemikalije</b>	44
6.1.1	PRODUKCIJA IN IZLOČANJE ALELOKEMIKALIJ	45
6.1.2	VPLIVI ALELOKEMIJSKIH SPOJIN	46
6.2	<b>Rastline z izrazitim alelopatskim delovanjem</b>	46
6.3	<b>Preučevanje alelopatije</b>	47
6.4	<b>Možnost uporabe</b>	48
6.4.1	ZATIRANJE PLEVELA S POMOČJO ALELOPATIJE	48
6.4.2	UPRAVLJANJE Z INVAZIVNIMI RASTLINAMI S POMOČJO ALELOPATIJE	49
6.5	<b>Potencialne alelopatske značilnosti rodu <i>Piper</i></b>	49
6.5.1	ALELOPATSKE ZNAČILNOSTI ČRNEGA POPROVCA	50
<b>7</b>	<b>SKLEPI</b>	52
<b>8</b>	<b>PREDLOGI NADALJNJEGA LABORATORIJSKEGA DELA</b>	54
<b>9</b>	<b>LITERATURA</b>	56

ZAHVALA

## KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Listi s socvetjem (levo), cvetovi (sredina; National parks board, 2020) in nedozoreli plodovi (desno; Hari Krishnan, 2012) črnega poprovca	3
Slika 2: Gojenje črnega poprovca na lesenih (levo, Nelson, 2011, str. 4) in betonskih (desno, Elevitch, 2011, str. 4) stebrih	5
Slika 3: Zmulčen material, ki služi kot zastirka ob mladi rastlini črnega poprovca (Nelson in Cannon-Eger, 2011, str. 5)	6
Slika 4: Okužba z glivo <i>Phytophthora capsici</i> (levo, Ramesh, 2013) in gnitje korenin zaradi glivične okužbe (desno, Long Nguyen, 2015)	7
Slika 5: Antraknoza na listu črnega poprovca (Online Plant Clinic, 2020)	7
Slika 6: Hrošč <i>Longitarsus nigripennis</i> , ki objeda plodove (levo) in poganjke/stebela (desno) črnega poprovca (Satyagopal idr., 2014)	8
Slika 7: Črni poper (levo), beli poper (sredina) in zeleni poper (desno) (Kew Science, 2017)	8
Slika 8: Skeletna formula molekule morfina (NEUROtiker, 2007)	15
Slika 9: Skeletna formula molekule nikotina (Harbin, 2008)	15
Slika 10: Skeletna formula molekule kapsaicina (Kaczmarski, 2007)	17
Slika 11: Skeletna formula molekule akonitina (Austin, 2020)	17
Slika 12: Skeletna formula molekule tubokurarina (Calvero, 2007)	17
Slika 13: Skeletna formula molekule iboganina (Calvero, 2007)	18
Slika 14: Skeletna formula molekule kinina (Vaccinationist, 2016)	18
Slika 15: Skeletna formula molekule morfina (NEUROtiker, 2007)	18
Slika 16: Skeletna formula molekule nikotina (Harbin, 2008)	19
Slika 17: Skeletna formula molekule koniina (NEUROtiker, 2007)	19
Slika 18: Skeletna formula molekule retronecina (Fvasconcellos, 2008)	19
Slika 19: Skeletna formula molekule atropina (Harbin, 2009)	20

Slika 20: Skeletna formula molekule kokaina (NEUROtiker, 2007)	20
Slika 21: Skeletna formula molekula taxola (Calvero, 2007)	20
Slika 22: Skeletna formula molekule solandina (Edgar181, 2012)	20
Slika 23: Skeletna formula, slika krogličnega in kalotnega modela molekule piperidina (NEUROtiker, 2008; Mills, 2008)	23
Slika 24: Skeletne formule nekaterih piperidinskih alkaloidov (Ojima in Iula, 1999, str. 374)	24
Slika 25: Reakcijska shema biosinteze piperidina iz L-lizina (Chopra idr., 2016, str. 76)	25
Slika 26: Reakcijska shema reakcije sinteze piperina (Chopra idr., 2016, str. 76)	25
Slika 27: Reakcijska shema laboratorijske sinteze piperina (Okwute idr., 2013, str. 110)	26
Slika 28: Skeletna formula molekule piperina (Gorgani idr., 2017, str. 124–125)	27
Slika 29: Geometrijski izomeri molekule piperina (Gorgani idr., 2017, str. 124–125)	27
Slika 30: Socvetja (levo), listje (sredina) in steblo (desno) japonskega dresnika (Gasperl, 2005; Vincentz, 2007)	36
Slika 31: Razširjenost orjaške zlate rozge (levo, Jogan idr., 2012, str. 46) in kanadske zlate rozge (desno, Jogan idr., 2012, str. 45) v Sloveniji	40
Slika 32: Naravno rastišče (levo), gostodlakavo steblo (sredina) in socvetje (desno) kanadske zlate rozge (Trčak, 2020)	40
Slika 33: Naravno rastišče (levo), golo steblo (sredina) ter zgornja in spodnja stran listne ploskve (desno) orjaške zlate rozge (Trčak, 2020)	41
Slika 34: Socvetje (levo), naravno rastišče (sredina) ter plodovi (desno) kalinolistnega pokalca (Vošnjak, 2020; Gavrilov, 2019)	43

## KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Preglednica 1: Taksonomska klasifikacija črnega poprovca (USDA, 2020)	3
Preglednica 2: Hranilna vrednost na 100 g črnega popra (USDA, 2020)	10
Preglednica 3: Posamezne fenolne skupine in spojine določene v plodovih črnega poprovca (Feng idr., 2020)	11
Preglednica 4: Delitev alkaloidov glede na biosintezni razvoj	17
Preglednica 5: Delitev alkaloidov glede na kemijsko zgradbo spojin	18
Preglednica 6: Delitev alkaloidov glede na farmakološke učinke spojin (Grošelj idr., 2019)	21
Preglednica 7: Značilnosti testov dokaznih reakcij za prisotnost alkaloidov v vzorcu (Slapničar in Boh Podgornik, 2021, 159)	22
Preglednica 8: Fizikalne lastnosti piperidina	23
Preglednica 9: Taksonomska klasifikacija japonskega dresnika (ITIS, 2020)	35
Preglednica 10: Taksonomska klasifikacija kanadske zlate rozge (USDA, 2020)	40
Preglednica 11: Taksonomska klasifikacija orjaške zlate rozge (USDA, 2020)	41
Preglednica 12: Taksonomska klasifikacija kalinolistnega pokalca (ITIS, 2020)	42



## 1 RAZISKOVALNI PROBLEM IN NAMEN TEORETIČNO-RAZISKOVALNE NALOGE

Črni poprovec (*Piper nigrum* L.) je večletna lesnata rastlina ovijalka. Njen plod velja kot ena najbolj vsestranskih začimb, ki se zaradi izrazite arome in ostrine uporablja v vsaki kuhinji. Glede na vrsto obdelave plodov ločimo zeleni, črni in beli poper. Plod vsebuje različne sekundarne metabolite, med drugimi tudi alkaloide, med katerimi je najbolj zastopan piperin, ki daje popru značilen oster vonj in okus.

Različni deli rastline se predvsem zaradi visoke vsebnosti alkaloidov uporabljajo kot zdravila, konzervansi in kot naravna sredstva s široko uporabo. Plodovi črnega poprovca imajo več uporabnih lastnosti za ljudi. Poleg številnih pozitivnih učinkov, ki jih ima na zdravje ljudi, lahko rastlina s svojimi izločki vpliva tudi na druge rastline, kar imenujemo alelopatija. Pojav je definiran kot biokemična interakcija rastlin, kjer gre za posreden ali neposreden škodljiv učinek ene rastline na drugo s sintezo spojin (alelokemikalij), ki se sprostijo v okolico.

Po svetu in v Sloveniji strokovnjaki že dlje časa opažajo večji pojav tujerodnih invazivnih rastlin. Te rastline so za večino dejavnikov generalisti, zato se na okoljske spremembe lažje prilagajajo in z nekontroliranim širjenjem izpodrivajo domorodne vrste, kar pogosto vodi v izumrtje domorodnih vrst ter s tem zmanjšujejo domorodno biotsko raznovrstnost. Poleg negativnega vpliva na domorodne vrste povzročajo tujerodne invazivne rastlinske vrste tudi gospodarsko škodo, saj lahko zaradi velikih razsežnosti koreninskih sistemov povzročajo poškodbe objektov in cest. Zaradi naštetih razlogov je njihovo širjenje potrebno omejevati oziroma jih zatirati. Eden od možnih načinov zatiranja je tudi kemično zatiranje oziroma uporaba sintetičnih herbicidov, ki so za okolje škodljivi. Pri aplikaciji prehajajo v pitno vodo in prst, s tem pa tudi v našo hrano. Uporaba sintetičnih herbicidov ponekod ni strogo nadzorovana, zato je škoda lahko še večja. Zaradi večletne uporabe sintetičnih herbicidov so nekatere rastlinske vrste postale odporne na njih. Vse bolj postaja zaželeno uporaba naravnih pripravkov, med katere uvrščamo tudi naravne produkte iz rastlin. Med alternativami sintetičnim herbicidom je tudi uporaba ekstraktov rastlin s fitotoksičnimi lastnostmi. V zadnjem času je vse več raziskav na temo rastlinskih ekstraktov in različnih rastlin, ki imajo potencialno fitotoksične lastnosti, saj so ljudje bolj ozaveščeni o škodljivi uporabi sintetičnih pesticidov. Ker je znano, da ima piperin in tudi drugi alkaloidi iz skupine piperidinskih alkaloidov fitotoksične oziroma alelopatske lastnosti, bi lahko primerni ekstrakti rastlinskih delov črnega poprovca v prihodnosti predstavljali sredstvo za kontrolo številnih invazivnih tujerodnih rastlinskih vrst in tako bili alternativa sintetičnim herbicidom.

Namen naloge je priprava obširnejšega pregleda relevantne literature o črnem poprovcu s poudarkom na plodovih in najpomembnejših skupinah sekundarnih metabolitov v tej rastlini. Pregled literature vključuje vire o potencialno alelopatskih lastnostih črnega poprovca. V okviru teoretično-raziskovalne naloge je predstavljen pojem alelopatije ter nekatere v Sloveniji pomembnejše in razširjene invazivne tujerodne vrste. Med njimi so izpostavljene: japonski

dresnik (*Fallopia japonica* (Houtt.) Ronse Decraene), orjaška zlata rozga (*Solidago gigantea* Aiton.), kanadska zlata rozga (*Solidago canadensis* L.) ter kalinolistni pokalec (*Physocarpus opulifolius* (L.) Maxim.). Predstavljene so možnosti izkoriščanja alelopatskih lastnosti črnega poprovca pri kontroli širjenja invazivnih tujerodnih rastlinskih vrst.

V nadaljevanju so predstavljena pomembnejša poglavja za namen teoretično-raziskovalne naloge.

## 2 ČRNI POPROVEC (*Piper nigrum* L.)

### 2.1 Opis rastline

Črni poprovec (*Piper nigrum* L.) je večletna lesnata ovijalka, ki spada v družino poprovk (Piperaceae). V višino lahko zraste do 9 m. Sivkasto steblo lahko doseže do 1,2 cm v premer. Iz stebela poganjajo številne vitice, ki omogočajo rastlini oporo, pomoč pri ovijanju, pritrjevanje na druge rastline ali površine. Zgornja stran listov je svetleče temno zelene barve, spodnja pa blede zelene barve. Listi so jajčaste oblike, veliki med 13 in 25 cm. Rastlina ima koničasta, podolgovata, ozka socvetja, (t. i. klaski), velika od 1,6 do 2 cm v dolžino, ki nosijo drobne bele cvetove. Iz oplojenih cvetov se v socvetju razvije od 50 do 60 plodov – jagod (Slika 1) (Nelson in Cannon-Eger, 2011). Mlada rastlina ima poganjke belkasto zelene ali svetlo vijolične barve. Starejša stebela rastline se odebelijo in postanejo hrapava, zelene, svetlo rumene ali vijolične barve (Ravindran, 2000). Taksonomska klasifikacija črnega poprovca je predstavljena v Preglednici 1.



Slika 1: Listi s socvetjem (levo), cvetovi (sredina; National parks board, 2020) in nedozoreli plodovi (desno; Hari Krishnan, 2012) črnega poprovca

Preglednica 1: Taksonomska klasifikacija črnega poprovca (USDA, 2020)

Sistemska kategorija	Znanstveno ime
Kraljestvo	Plantae (rastline)
Deblo	Magnoliophyta (semenke)
Razred	Magnoliopsida (dvokaličnice)
Red	Piperales (poprovci)
Družina	Piperaceae (poprovke)
Rod	<i>Piper</i> (poprovec)
Vrsta	<i>Piper nigrum</i> L. (črni poprovec)

## 2.2 Zgodovina

Črni poper je ena najstarejših in najbolj znanih začimb na svetu, zato ga upravičeno imenujejo "kralj začimb". Beseda poper izhaja iz staroindijske besede "pippali" in pomeni ime za indijski dolgi poper (*Piper longum* L.). Skozi zgodovino je poper veljal za najprestižnejšo začimbo (Charles, 2013). Črni poprovec so začeli gojiti v jugozahodni regiji Indije, ki jo sestavljajo države Kerala, deli Karnatake, Tamil Nadu in Goa. Središče izvora so vlažni tropski gozdovi, ki mejijo na obalo Malabar. To je del zahodnih Gatov, ki veljajo za eno od bolj biotsko raznovrstnih področij rastlin na Zemlji. Na območju Malabarske obale so se že zelo zgodaj ukvarjali z gojenjem in trgovanjem popra. Od tam so poper nato prevažali v Indonezijo, Malezijo in kasneje tudi v druge države (Ravindran, 2006).

Grški antični zdravnik Hipokrat je okoli leta 400 pr. n. št. v svojih delih omenjal uporabo popra za boljše delovanje prebave. Nato je leta 372–287 pr. n. št. starogrški filozof in utemeljitelj botanike Teofrast v svojih delih opisal črni in dolgi poper, v prvem stoletju našega štetja pa je grški farmakolog in botanik Pedanij Dioskorid v svoji delih omenjal črni in beli poper. Okoli leta 545 n. št. je po obisku Indije in Šrilanke pridelavo in trgovanje s poprom na obali Malabar opisal grški trgovec Cosmas Indicopleustes. V času rimskega imperija je bil poper zelo pomemben izdelek, saj so ga pri trgovanju z začimbami kot menjalno sredstvo uporabljali namesto denarja. Od srednjega veka naprej je bil poper osrednja surovina evropske trgovine z začimbami (Charles, 2013).

## 2.3 Pridelava po svetu

Črni poper je trgovsko najbolj razširjena začimba na svetu, predstavlja približno 20 % celotnega uvoza začimb. Trenutno poper pridelujejo v šestindvajsetih državah po svetu (Ravindran, 2006). V letu 2018 je bila svetovna proizvodnja črnega popra ocenjena na 752.000 ton, svetovni uvoz 414.000 ton ter izvoz 392.000 ton, pri vseh pa se kaže naraščajoč trend. Prav tako je bilo v letu 2018 v svetu 590.000 hektarov površin za pridelavo črnega popra (od tega največ v Indoneziji, Indiji in Vietnamu), s skupnim povprečnim pridelkom 1.3 ton/hektar (FAO, 2020).

Vietnam velja za največjega svetovnega pridelovalca popra z 273.000 tonami v letu 2018, kar je predstavljalo cca. 36 % svetovne proizvodnje popra. Po pridelavi mu sledijo Brazilija (101.274 ton), Indonezija (88.715 ton), Indija (67.472 ton), Šrilanka (48.253 ton), Kitajska (36.125 ton), Malezija (30.457 ton) in Mehika (9.141 ton). Največja uvoznica črnega popra je ZDA (74.923 ton), sledijo ji Vietnam (35.416 ton), Nemčija (30.765 ton) in Indija (26.009 ton). Največji izvozniki črnega popra so Vietnam (160.375 ton), Brazilija (72.580 ton), Indonezija (47.614 ton) in Indija (16.726 ton). Največ popra porabijo v Vietnamu, Indiji in ZDA (41 % celotne porabe) (FAO, 2020).

## 2.4 Tehnologija pridelave

Črni poprovec uspeva v vlažnih, vročih, tropskih podnebjih z nadmorsko višino do približno 600 m. Optimalna temperatura za gojenje je od 22 °C do 30 °C. Rastlina potrebuje enakomerno porazdeljeno letno količino padavin s približno 2500 mm ali več. Rastlini ustrezajo globoka dobro odcedna in zračna tla, bogata s humusom in rahlo kislim pH-jem (5,5–6,0) (Nelson in Cannon-Eger, 2011).

Črni poprovec se lahko razmnožuje s semeni, s stebelnimi potaknjenci ali s cepljenjem. Razmnoževanje pri večjih pridelovalcih večinoma poteka s stebelnimi potaknjenci, izbranimi iz zgornjih delov mlade, močne, visoko rodne in zdrave rastline. Potaknjence nato ukoreninijo in do presaditve na prosto gojijo v senčenih rastlinjakih z visoko zračno vlago (Nelson in Cannon-Eger, 2011).

Črni poprovec gojijo na opori, ki jo predstavljajo 4 m visoki leseni ali betonski stebri (Slika 2). Stebre običajno pred sajenjem rastlin postavijo na razdaljo 2,4 m x 2,4 m, kjer ob vsaki opori zasadijo tudi več rastlin. Z občasnim obrezovanjem ob sajenju in med rastno dobo se spodbudi stransko razraščanje rastlin, rastline pa se s tem vzdržuje v višini opornih stebrov. V Maleziji in Šrilanki rastline sadijo nekoliko gosteje, z manjšimi razdaljami v vrsti in med vrstami (2,5 m × 2,0 m), kar v splošnem pomeni nekje 2000 rastlin na hektar (Nelson in Cannon-Eger, 2011).



Slika 2: Gojenje črnega poprovca na lesenih (levo, Nelson, 2011, str. 4) in betonskih (desno, Elevitch, 2011, str. 4) stebrih

Tretje leto po sajenju rastlina obrodi prvi manjši pridelek. Polno rodnost rastline dosežejo v 7 do 8 letih po sajenju. Rastlina v intenzivni pridelavi lahko doseže starost tudi do 20 let. Plodovi (jagode) dozoriijo v obdobju 2 do 6 mesecev po cvetenju, odvisno od podnebja ali pridelovalnega območja, obiranja pa se izvajajo vsakih 7 do 14 dni. Čas obiranja se po svetu razlikuje. V Indiji je sezona obiranja od novembra do konca marca, medtem ko na Madagaskarju pridelek pobirajo od junija do oktobra. V nekaterih območjih lahko zaradi ugodnega podnebja pridelovalci dosežejo tudi dve rodnosti na leto kot na primer na Havajih, kjer pridelek pobirajo prvič od februarja do marca in drugič od maja do junija (Nelson in Cannon-Eger, 2011).

Po svetu poznajo več kot 40 različnih sort črnega poprovca, večina pa jih izvira iz Indije. Sorte se med seboj razlikujejo po velikosti listov, dolžini socvetij, lastnostih plodov (velikost in barva), odpornosti na škodljivce in bolezni ter parametre kakovosti in rodnosti. Sorte se razlikujejo tudi glede na uspevanje v različnih podnebjih, kjer nekatere vrste bolje uspevajo v vlažnih, druge pa v bolj suhih podnebjih (Nelson in Cannon-Eger, 2011).

Osnovni agrotehnični ukrepi po sajenju črnega poprovca vključujejo zatiranje plevelov, varstvo pred škodljivci in boleznimi, gnojenje, zastiranje, namakanje v sušnih obdobjih in obrezovanje. Prikrajševanje rastline vpliva na zgostitev, medtem ko z obrezovanjem in prikrajševanjem v zgornjem delu opore držimo rastlino na željeni višini. Rastline je v prvem letu po sajenju potrebno poleti zaščititi pred neposrednim soncem, da ne pride do sončnih ožigov in propada rastlin. To izvedejo s senčenjem s kokosovi listi ali blagom. Kot zastirko za ohranjanje vlage v tleh največkrat uporabijo zmulčen material, ki je predstavljen na Sliki 3 (Nelson in Cannon-Eger, 2011).



Slika 3: Zmulčen material, ki služi kot zastirka ob mladi rastlini črnega poprovca (Nelson, 2011, str. 5)

Težave pri pridelavi črnega poprovca povzročajo bolezni in škodljivci. Pogosta bolezen je gniloba korenin in stebela, ki jo povzročajo glive iz rodu *Phytophthora* (predvsem *P. capsici*). Te patogene glive se pogosto pojavijo v območjih mokrih in slabo odcednih tal. Glive povzročajo gnilobo korenin, okužbe listov, razbarvanja listov in plodov (Slika 4) ter razbarvanje stebel pri tleh, kar lahko vodi v propad rastline že v nekaj dneh (Nelson in Cannon-Eger, 2011).

Rumeno bolezen (ang. »yellow disease«) lahko povzročijo biotski in abiotski dejavniki, na primer parazitske nematode (*Radopholus similis* in *Meloidogyne incognita*), parazitske glive (*Fusarium solani*) in/ali pomanjkanje hranil. Omenjeni patogeni povzročajo tvorbe na koreninah, gnitje korenin ter rumenenje listov, kar lahko vodi v propad rastlin. V vlažnih in toplih razmerah lahko rastlino napade gliva *Rhizoctonia* sp., ki povzroči izgubo listov ali propad mladih rastlin (Ravindran, 2006).



Pepelasto pegavost (ang. charcoal rot) povzroča gliva *Macrophomina phaseolina*, kjer mikrosklerociji povzročijo sivenje in gnitje stebel poprovca. Drugi simptomi te bolezni pa so še razbarvanje in odpadanje listov. Gliva med njenim razraščanjem v stebelu in koreninah poškoduje prevodni sistem in s tem onemogoči prehajanje hranil in vode, zato se rastlina začne sušiti. Ta bolezenska znamenja se izrazijo šele v času dozorevanja, v sušnih obdobjih ali v obdobjih temperaturnega stresa, kar torej pomeni, da je rastlina lahko bila okužena že prej (Žerjav, 2020).

Antraknoza je glivična bolezen, ki se najpogosteje pojavlja v deževnem obdobju. Bolezen povzročajo glivični rastlinski patogeni iz rodu *Colletotrichum*. Prepoznamo jo po z rumeno obrobo obdanih sivih pegah na listih črnega poprovca (Slika 5). Antraknoza povzroča tudi razpoke na plodovih, zaradi katerih prihaja do sekundarnih okužb (Online Plant Clinic, 2020).



Slika 4: Okužba z glivo *Phytophthora capsici* (levo, Ramesh, 2013) in gnitje korenin zaradi glivične okužbe (desno, Long, 2015)



Slika 5: Antraknoza na listu črnega poprovca (Online Plant Clinic, 2020)

Simptomi pomanjkanja mineralnih hranil pri pridelavi črnega popra se lahko pojavijo v nasadih z neustreznim namakanjem ali z neustreznimi vnosi gnojil. Na nekaterih območjih so problem predvsem virusne bolezni, ki lahko povzročajo hude težave pri pridelavi. Virus, ki povzroča bolezen ang. »stunt disease«, povzroči deformacije listov in zaustavitev rasti rastlin (Nelson in Cannon-Eger, 2011).

Pri pridelavi črnega poprovca so pogosto problem tudi škodljivci, predvsem žuželke (Nelson in Cannon-Eger, 2011). Med njimi so najpogostejši razni hrošči (*Longitarsus nigripennis*), večče (*Cydia hemidoxa*), tripsi (*Liothrips karnyi*) in druge žuželke. Ličinke hrošča *Longitarsus nigripennis* zajedajo plodove, stebila in korenine rastline (Slika 6). Hrošč se pojavlja predvsem v nasadih, ki so na ravnini ali nižji nadmorski višini. Napadeni poganjki počrnijo in propadejo, poškodovane jagode pa porumenijo, nato počrnijo in kasneje tudi odpadejo (Satyagopal idr., 2014).



Slika 6: Hrošč *Longitarsus nigripennis*, ki objeda plodove (levo) in poganjke/stebila (desno) črnega poprovca (Satyagopal idr., 2014)

## 2.5 Obdelava plodov

Glede na način obdelave plodov črnega poprovca ločimo črni, zeleni in beli poper (Slika 7).



Slika 7: Črni poper (levo), beli poper (sredina) in zeleni poper (desno) (Kew Science, 2017)



Črni poper so cele nedozorele poprove jagode. S pobiranjem pričnejo, ko zelene jagode postanejo rumeno obarvane, kar je nekje običajno od 6 do 7 mesecev po cvetenju. Po obiranju poprove jagode odstranijo z rastline s pomočjo teptanja, udarjanja s palico ali ročno s tresenjem. V nadaljevanju plodove razporedijo na bambusove podstavke ali betonske ploščadi ter postavijo na sonce, kjer se sušijo med 5 in 7 dni, odvisno od velikosti jagod in vremenskih razmer, dokler se vlaga v plodovih ne zmanjša na 12 do 13 %. Med sušenjem se zunanja lupina plodov skrči, naguba in počrni. Način pridelave črnega popra se med državami razlikuje glede na obdelavo pred postopkom sušenja. Za pridelavo kakovostnega črnega popra ponekod plodove blanširajo (potopijo za kratek čas v vrelo vodo za 1,5 minute), preden jih dajo sušiti. Zaradi visoke temperature celične stene plodov popokajo, kar povzroči rjavenje plodov med sušenjem. Prednost obdelave plodov črnega popra z blanširanjem je krajši čas sušenja (saj so tako za sušenje potrebni le trije dnevi), enakomerna barva plodov in čistejši plodovi (Nelson in Cannon-Eger, 2011).

Beli poper pridobivajo iz zrelih (rdečih) plodov. Po obiranju zrele jagode tesno zapakirajo v vreče iz jute in jih namočijo v tekočo vodo (običajno za 10 do 14 dni). Nato plodove namočijo v rezervoar z vodo, jih poteptajo toliko, da odstopi eksokarp (zunanja lupina) in tako plodovi ostanejo sivo-bele barve. Kasneje plodove temeljito sperejo pod tekočo vodo in jih razporedijo na bambusove podstavke ali betonske ploščadi, kjer jih posušijo na soncu (Ravindran, 2006).

Zeleni poper tako kot črni poper pridobivajo iz nezrelih plodov. Posušene zelene plodove obdelajo na način, ki ohrani zeleno barvo, na primer z žveplovim dioksidom, liofilizacijo ali konzerviranjem v slanici ali kisu (Ravindran, 2006).

Črni, beli in zeleni poper se med seboj razlikujejo v več fizikalnih in kemijskih lastnostih. Črni poper je okrogle oblike, z nagubanim perikarpom in premerom 2,5 do 7,0 mm. Črni poper je rjave, temno rjave ali črne barve. Ima prodoren vonj in pekoč, zelo oster okus brez tujih arom in vonjav. Beli in zeleni poper sta oba okrogle oblike, vendar po velikosti nekoliko manjša kot črni (2 do 6 mm). Beli poper ima gladko površino, rahlo sploščeno na eni strani in z majhno izboklino na drugi strani. Je mat sive do rjavkaste do blede slonokoščene barve, je rahlo oster in zelo aromatičen. Ko odstranijo zunanjo lupino, odstranijo tudi nekaj okusa, zato je beli poper bolj blag kot črni poper. Zeleni poper pa je z ali brez nagubanega perikarpa. Je zelene do temno zelene barve, je najmanj pekoč in ima aromatičen okus (Codex Alimentarius, 2017). Zeleni poper je najblažji in najmanj dražilen, zato ga lahko zaužijemo v večjih količinah. Črni poper ostane dlje časa svež kot beli poper, saj ta hitreje izgubi svoj okus (Superfoodly, 2018).

## 2.6 Vsebnost snovi

Črni, beli in zeleni poper vsebujejo približno 12 % vlage. Največ suhe snovi vsebuje črni poper (6 %), sledi mu zeleni poper (5 %), najmanj suhe snovi pa vsebuje beli poper (3,5 %). Največ eteričnega olja vsebuje črni poper (2 %), sledi mu beli poper (1,5 %), najmanj pa ga vsebuje

zeleni poper (1,5 %). Največ piperina vsebujeta beli poper in črni poper (3–8 %), najmanj pa ga vsebuje zeleni poper (Codex Alimentarius, 2017; Ahmad idr., 2015; Schulz idr., 2005). Sestavo plodov črnega poprovca lahko v splošnem razdelimo v dve skupini; prva je sestavljena iz spojin, ki prispevajo k ostrini, druga pa iz spojin, ki dajejo značilno aromo. K značilni aromi črnega popra prispevajo predvsem eterična olja v plodovih, medtem ko je ostrina posledica prisotnosti alkaloida piperina (Ravindran, 2006).

Zeleni poper vsebuje največ antioksidantov, sledi mu črni poper, najmanj antioksidantov vsebuje beli poper (Superfoodly, 2018). Vsebnost vitamina C na 100 g zelenega popra je 60 mg, medtem ko ga enaka količina črnega popra vsebuje približno 3-krat manj (21 mg vitamina C/100g). Analiza hranilne vrednosti črnega popra kaže prisotnost številnih vitaminov, mineralov, elektrolitov in prehranskih vlaknin (Suliman, 2016). Hranilna vrednost na 100 g črnega popra je prikazana v Preglednici 2.

Preglednica 2: Hranilna vrednost na 100 g črnega popra (USDA, 2020)

<b>SNOV</b>	<b>HRANILNA VREDNOST</b>	<b>% PDV</b>
energija	255 kcal	13
beljakovine	10,6 g	19,5
maščobe	3,7 g	11
ogljikovi hidrati	64,8 g	49
vlaknine	26,5 g	69
vitamin A	299 IU	10
vitamin C	21 mg	35
vitamin E	4,6 mg	30
vitamin K	163,7 µg	136
folna kislina	10 µg	2,5
vitamin B6	0,3 mg	26
tiamin	0,1 mg	9
riboflavin	0,2 mg	18
niacin	1,1 mg	7
železo	28,9 mg	360
magnezij	194 mg	48,5
kalcij	437 mg	44
fosfor	173 mg	25
kalij	1259 mg	27
natrij	44 mg	3
cink	1,42 mg	13
baker	1,1 mg	122
mangan	5,6 mg	244,5
holin	11,3 mg	2
karoten-beta	156 µg	--

karoten-alfa	0 µg	--
beta kriptoksantin	48 µg	--
lutein+zeaksantin	205 µg	--
likopen	6 µg	--

% PDV – Priporočen dnevni vnos

### 2.6.1 SEKUNDARNI METABOLITI

Plodovi črnega poprovca vsebujejo tudi sekundarne metabolite. Med sekundarne metabolite štejemo fenolne spojine, terpenoide (pigmenti) in dušik vsebujoče snovi - alkaloide (najbolj zastopan je piperin). Te snovi niso neposredno vključene v metabolne procese, rastlina jih potrebuje kot zaščito pred škodljivci, za odvrčanje herbivorov, za privabljanje oprasovalcev ipd. Veliko teh snovi je zelo strupenih, na ta način pomagajo rastlinam in mikroorganizmom preživeti v okolju (Charles, 2013). Na vsebnost sekundarnih metabolitov v rastlini vplivajo predvsem okoljski dejavniki (Hammouti idr., 2019). V rastlinskem svetu so fenolne spojine najbolj razširjena skupina sekundarnih metabolitov. Seznam fenolnih spojin, določenih v plodovih črnega popra, je prikazan v Preglednici 3.

Preglednica 3: Posamezne fenolne skupine in spojine določene v plodovih črnega poprovca (Feng idr., 2020)

Fenolna skupina	Določene snovi
<b>1. Fenolne kisline</b>	
1.1. Hidroksicimetne kisline	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 3-sinapoilkininska kislina</li> <li>- derivati klorogenske kisline</li> <li>- p-kumaroil jabolčna kislina</li> <li>- 3,4-O-dimetilgalna kislina</li> <li>- derivati kavne kisline</li> <li>- p-kumaroil tirozin</li> <li>- p-kumaroil tartarna kislina</li> </ul>
1.2. Hidroksibenzojske kisline	<ul style="list-style-type: none"> <li>- protokatehulna kislina</li> <li>- 4-O-metilgalna kislina</li> <li>- p-hidroksibenzojska kislina</li> </ul>
<b>2. Flavonoidi</b>	
2.1. Flavonoli	<ul style="list-style-type: none"> <li>- kempferol 3-O-glukozil-ramnozid-galaktozid</li> <li>- kempferol-3-O-glukozid</li> <li>- miricetin-3-O-ramnozid</li> <li>- kempferol-3-O-(2''-ramnozid-galaktozid)-7-O-ramnozid</li> <li>- izoramnetin-3-O-glukozid-7-O-ramnozid</li> </ul>
2.2. Antocianini	<ul style="list-style-type: none"> <li>- delphinidin 3-O-glukozil-glucozid</li> <li>- cianidin 3,5-O-diglukozid</li> <li>- peonidin 3-O-sambubiozid-5-O-glukozid</li> <li>- cianidin 3-O-rutinozid</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"><li>- pelargonidin 3-O-sambubiozid</li><li>- peonidin 3-O-rutinozid</li><li>- pelargonidin 3-O-rutinozid</li></ul>
2.3. Flavoni	<ul style="list-style-type: none"><li>- diosmin</li><li>- derivati apigenina (apigenin 6-C-glukozid, apigenin 6,8-di-C-glukozid)</li></ul>
2.4. Flavanoni	<ul style="list-style-type: none"><li>- derivati naringenina (6-Geranylaringenin)</li><li>- hesperidin</li></ul>
2.5. Flavanoli	<ul style="list-style-type: none"><li>- derivati epikatehina (3'-O-metil(-)-epikatehin 7-O-glukuronid)</li></ul>
<b>3. Naftokinoni</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Juglon</li></ul>
<b>4. Fenolni terpeni</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Timol</li></ul>
<b>5. Lignani</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- arktigenin</li><li>- šisandrin</li><li>- šisanhenol</li><li>- ciklolaricirezinol</li><li>- matairezinol</li><li>- dimetilmatairezinol</li><li>- šisandrin B</li></ul>

---

## 2.7 Uporabna vrednost plodov

Črni poper je ena najbolj vsestranskih začimb, ki se zaradi izrazite arome in ostrine uporablja v vsaki kuhinji. Za stare Egipčane je služil kot sestavina v balzamirani mešanici, stari Ariji pa so ga uporabljali kot dragoceno drogo. Različni deli rastline se predvsem zaradi visoke vsebnosti sekundarnih metabolitov uporabljajo kot zdravila, konzervansi in kot naravna sredstva s širokim spektrom uporabe (Ahmad idr., 2015).

Plodovi črnega poprovca imajo veliko zdravilno vrednost. Izsledki različnih raziskav kažejo, da zaradi visoke vsebnosti sekundarnih metabolitov črni poper deluje antiapoptotično (Pathak in Khandelwal, 2007), antibakterijsko (Chaudhry in Tariq, 2003), antidepresivno (Li idr., 2007), protiglivično (Arslan idr., 2009), protivnetno (Singh in Duggal, 2009), antispazmolitično (Kumar idr., 2007), antitumorno (Sunila in Kuttan, 2004), alelopatsko (Siddiqui, 2007), antioksidativno (Pathak in Khandelwal, 2007), insekticidno (Scott idr., 2008). Vegetativni deli črnega poprovca se v medicini uporabljajo za zaščito pred oksidativnim stresom, kajti piperin preprečuje oksidativne poškodbe celic (Ahmad idr., 2010). Poleg zaščite pred oksidativnim stresom piperin izboljšuje tudi biološko uporabnost različnih cepiv, povečuje biološki izkoristek aktivnih komponent, regulira izločanje antiepileptičnih aktivnih snovi, aktivira biološke membrane za lažjo absorpcijo aktivnih učinkovin, deluje tudi kot inhibitor na rast tumorskih celic, inhibira mitohondrijsko oksidativno fosforilacijo idr. (Nirala idr., 2008; Ahmad idr., 2015).

Uživanje pripravkov iz črnega popra lahko stimulira prebavne encime trebušne slinavke in črevesja ter poveča izločanje žolčne kisline (Pathak in Khandelwal, 2008). Z uporabo piperina je mogoče preprečiti oz. zmanjšati drisko. S poskusom na miših so ob aplikaciji piperina dokazali zmanjšanje akumulacije črevesne tekočine (Singh in Duggal, 2009).

Črni poper ima tudi insekticidne in fungicidne lastnosti, zato se ga uporablja za varstvo rastlin pred boleznimi in škodljivci. Alkaloid piperin, ki je izmed sekundarnih metabolitov v plodovih črnega poprovca najbolj zastopan, ima skupaj s svojim stereoizomerom, imenovanim kavicin in neridolom, pomembno obrambno vlogo pred mikrobi, insekti in nekaterimi drugimi živalmi (Ahmad idr., 2015).

### 3 ALKALOIDI

Leta 1805 je F. W. Sertürner (1783-1841) napovedal izolacijo morfina in s tem hkrati začel preučevanje alkaloidov. Iz izoliranega morfina je pripravil več njegovih soli in s tem prikazal princip, ki povzroča fiziološke učinke opija<sup>1</sup>. Pet let kasneje je B. A. Gomes (1768-1823) kislemu alkoholnemu ekstraktu iz lubja kininovca (drevo iz družine *Rubiaceae*) dodal bazo in pridobil oborino, ki jo je poimenoval »*cinchonino*«. Poznejše raziskave parižanov P. J. Pelletiera (1788-1842) in J. B. Caventoua (1795-1877) so pokazale, da je »*cinchonino*« zmes dveh alkaloidov, imenovanih kinin in kinkhonin.

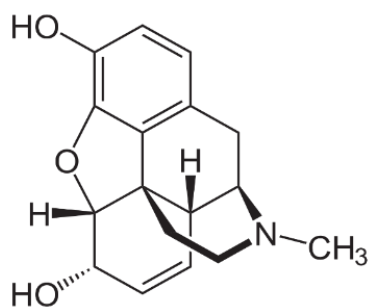
Med letoma 1820 in 1850 so raziskovalci izolirali in določili veliko število novih in različnih spojin alkaloidov. Med najpomembnejše alkaloidne, odkrite v tem obdobju, uvrščamo akonitin, ki je eden izmed najbolj strupenih alkaloidov rastlinskega izvora. Včasih so alkaloid akonitin uporabljali za zdravljenje hudih nevralgij<sup>2</sup>. Ker se molekula alkaloida veže na natrijeve kanalčke in povzroča prolongirano depolarizacijo membrane, povzroča analgezijo, krče in srčno aritmijo, pri višjih dozah pa mišično paralizo in celo odpoved dihanja (Pelletier, 1992). Leta 1819 je nemški farmacevt W. Meissner (1792-1853) uvedel izraz alkaloid. *Al-kal-oid* je arabsko-grška beseda, ki dobesedno pomeni *kot alkalija*. Ime je povezano z bazičnostjo večine alkaloidov, kljub temu, da obstaja tudi manjša skupina alkaloidov, ki nimajo bazičnih lastnosti. Enostavno definicijo alkaloidov, in sicer da so to ciklične spojine, ki vsebujejo dušik v negativnem oksidacijskem stanju in jih v omejenih količinah proizvajajo živi organizmi, je leta 1982 predlagal S. William Peletier. Ta definicija izključuje nitro in nitozo spojine ter enostavne aciklične amine (Grošelj idr., 2019).

Alkaloidne lahko definiramo kot organske dušikove spojine naravnega izvora, ki imajo raznolike fiziološke učinke na ljudi in tudi ostale organizme. Med najbolj znanimi alkaloidi sta morfin in nikotin (Britannica, 2020). Morfin je opiat, ki so ga izolirali iz vrtnega maka in je proizveden sintetično. Uporablja se kot analgetik, saj aktivira in se v telesu veže na specifične opiatne receptorje, izmed katerih vsak nadzira različne možganske funkcije. Uživanje tega opiata lahko hitro vodi v odvisnost. Na Sliki 8 je prikazana skeletna formula molekule morfina. Nikotin je rastlinski alkaloid, ki se nahaja v tobaku, ki je glavna sestavina cigaret. Nikotin je stimulant centralnega živčnega sistema, ki vodi v zasvojenost. Skeletno formulo molekule nikotina prikazuje Slika 9 (National Library of Medicine, 2020).

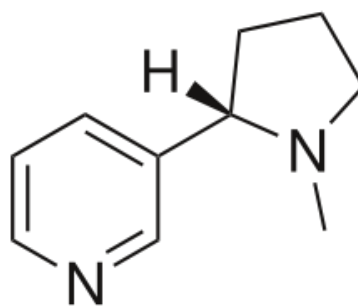
---

<sup>1</sup> Opij je posušen mleček iz nezrelih glavic vrtnega maka (*Papaver somniferum* L.). Glavne sestavine, ki izkazujejo farmakološki učinek, so alkaloidi morfin, kodein in tebain. Polsintezno pridobljen diacetilmorfin, znan kot heroin, je zdaleč najbolj razširjen derivat opija.

<sup>2</sup> Nevralgija je nenadna, močna bolečina obraznega živca. Opišemo jo kot zbadajočo, prebadajočo ali električnemu sunku podobno bolečino na obrazu, ki lahko traja do nekaj minut. Večinoma prizadene le polovico obraza.



Slika 8: Skeletna formula molekule morfina  
(NEUROtiker, 2007)



Slika 9: Skeletna formula molekule nikotina  
(Harbin, 2008)

Alkaloidi, ki predstavljajo najbolj raznoliko skupino sekundarnih metabolitov<sup>3</sup>, se v največji meri pojavljajo v rastlinah. Ocenjujejo, da so alkaloidi prisotni v kar četrtini višjih rastlinskih vrst, pri čemer posamezna vrsta vsebuje le malo različnih alkaloidov. Nekaj alkaloidov so našli tudi v živalskih in glivnih vrstah ter tudi pri sesalcih. V naravi v največji meri nastajajo pri rastlinskem metabolizmu iz aminokislin in sladkorjev, tj. primarnih metabolitov<sup>4</sup> (Britannica, 2020).

Vloga alkaloidov v rastlinah še ni povsem razjasnjena. Znanstveniki so sprva predvidevali, da so le odpadni produkti, nastali tekom metabolizma rastline, vendar danes predvidevajo, da alkaloidi služijo specifičnim biološkim funkcijam. Pri nekaterih vrstah rastlin se koncentracija alkaloidov poveča pred izgradnjo semen in upade, ko je seme zrelo. Sklepati je mogoče, da imajo alkaloidi vlogo pri zorenju semen, hkrati pa ščitijo rastline pred različnimi škodljivimi insekti (Britannica, 2020).

Alkaloidi imajo pomembno vlogo pri alelopatiji<sup>5</sup>, saj lahko nekatere rastline z izločanjem alkaloidov v okolje zavirajo rast drugih rastlin. Vsebnost alkaloidov se v različnih organih rastline spreminja s starostjo in z biotskimi (prisotnost gliv, bakterij) ter abiotskimi dejavniki (temperatura, vlaga) (Batič, 2020). Rastline z visoko vsebnostjo različnih vrst alkaloidov so grenkega okusa, zato se jih živali izogibajo. Znano je, da velika vsebnost alkaloidov znatno zmanjša krmno vrednost rastlin. Kljub strupenosti rastlin z visoko vsebnostjo alkaloidov mnoge izmed njih zaradi koristnih farmakoloških učinkov uporabljamo v medicini (Kristanc, 2020).

V heterocikličnem obroču alkaloidi značilno vsebujejo vsaj en aaminski dušikov atom z bazičnimi lastnostmi. Sklepati je mogoče, da imajo alkaloidi v splošnem bazični značaj, kljub

---

<sup>3</sup> Organske spojine, ki jih najdemo pri rastlinah in glivah. Sekundarni metaboliti niso neposredno vpleteni v rast, razmnoževanje in razvoj organizmov, ampak imajo vlogo obrambnih in signalnih molekul (Thaler in Bajc, 2013).

<sup>4</sup> Metaboliti, ki jih tvorijo glive ali rastline kot vir energije ali strukturne sestavine, nujno potrebne za njihovo rast in razvoj (ZRC SAZU, 2020).

<sup>5</sup> Alelopatija je biološki pojav, pri katerem določeni organizem proizvaja eno ali več biokemijskih spojin, imenovanih alelokemikalije, ki vplivajo na rast, preživetje in razmnoževanje drugih organizmov. Alelokemikalije imajo lahko koristne oziroma pozitivne učinke ali škodljive oziroma negativne učinke na tarčne organizme. So skupina sekundarnih metabolitov, ki jih alelopatski organizem ne potrebuje za rast, razvoj in razmnoževanje. Alelokemikalije s škodljivimi učinki so pomemben sestavni del obrambe rastlin pred rastlinojedi (Narwal, 2010).

temu pa nekateri izmed njih nimajo bazičnih lastnosti. V odvisnosti od pH vrednosti medija (topila) se lahko alkaloidi nahajajo v obliki amonijeve soli ali kot proste baze. Omenjeni obliki se lahko pretvarjata ena v drugo ob dodatku baze ali kisline, kar predstavlja temeljni princip njihove izolacije iz rastlinskih ekstraktov. Molekule alkaloidov imajo zapleteno zgradbo. Če se v obroču pojavljajo le ogljikovi atomi, so ti alkaloidi karbociklični. Alkaloidi se v rastlinah nahajajo predvsem v obliki polarnih soli različnih organskih kislin. V čisti obliki so alkaloidi po navadi brezbarvne, nehlapne, kristalinične trdne snovi z grenkim okusom (Grošelj idr., 2019).

Ker je klasifikacija alkaloidov zaradi velike strukturne raznovrstnosti dokaj težavna, obstaja tudi več različnih delitev. Alkaloide lahko v različne skupine delimo glede na:

- (1) biosintezni izvor,
- (2) kemijsko zgradbo spojin,
- (3) fiziološke učinke spojin,
- (4) skupino rastlin, ki jih vsebujejo ipd.

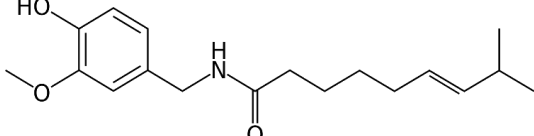
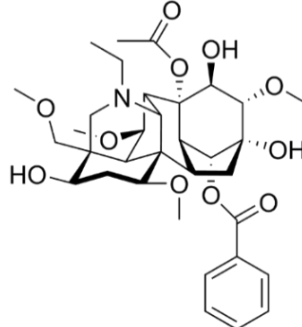
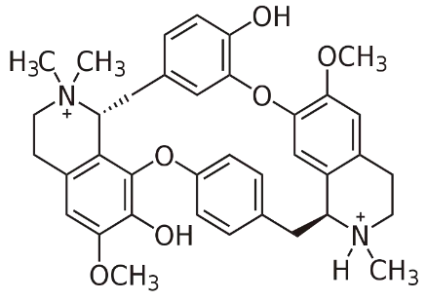
V nadaljevanju je predstavljenih nekaj pomembnejših delitev alkaloidov.



### 3.1 Delitev alkaloidov glede na biosintezni izvor

Preglednica 4 prikazuje delitev alkaloidov na strukturne tipe, odvisno od tega, iz katerih aminokislin oziroma njihovih derivatov biosintezno izhajajo. V ta način klasifikacije so za namen lažje predstavitve skupin zajeti tudi alkaloidi, ki so izpeljani iz poliketidov ali terpenoidov, in sicer z uvedbo dušikovega atoma iz amonijaka.

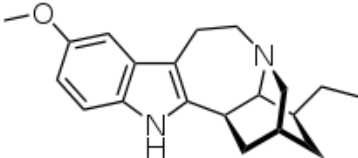
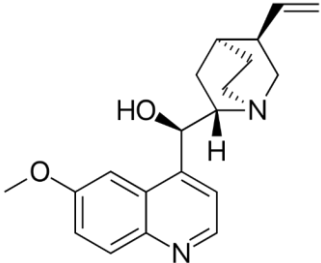
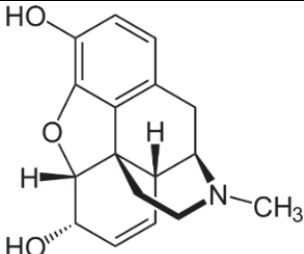
Preglednica 4: Delitev alkaloidov glede na biosintezni razvoj

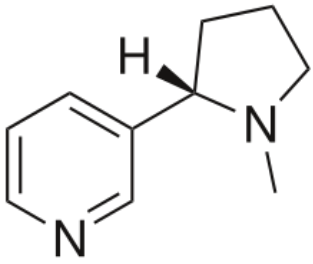
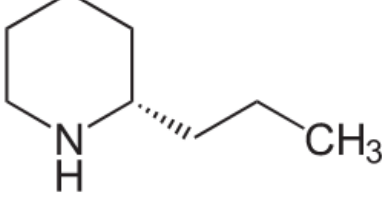
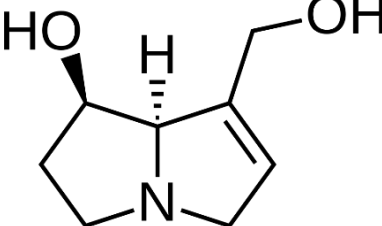
Skupina	Značilnosti skupine	Primer
protoalkaloidi	<ul style="list-style-type: none"> <li>v rastlinah nastajajo iz aminokislin;</li> <li>enostavni amini;</li> <li>bazični;</li> <li>dušikov atom ni del heterocikla.</li> </ul>	 <p>Slika 10: Skeletna formula molekule kapsaicina (Kaczmarški, 2007)</p>
psevdoalkaloidi	<ul style="list-style-type: none"> <li>ne nastajajo iz aminokislin;</li> <li>imajo lastnosti alkaloidov;</li> <li>atom dušika se naknadno vgradi v neko drugo spojino (v steroidni saponin, terpen ali pa ta spojina nastane s povezavo acetatnih enot).</li> </ul>	 <p>Slika 11: Skeletna formula molekule akonitina (Austin, 2020)</p>
pravi alkaloidi	<ul style="list-style-type: none"> <li>izvirajo iz aminokislin;</li> <li>najobsežnejša skupina alkaloidov;</li> <li>imajo lastnosti alkaloidov;</li> <li>molekulo alkaloida sestavljata dva dela:                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- spojina z dušikom (aminokislina, piridinski obroč iz piridinskih nukleotidov ali purinski obroč iz purinskih nukleotidov),</li> <li>- spojina brez dušika (acetat, acetoacetat, izoprenoid, sekoiridoid ali deaminirana aminokislina).</li> </ul> </li> </ul>	 <p>Slika 12: Skeletna formula molekule tubokurarina (Calvero, 2007)</p>

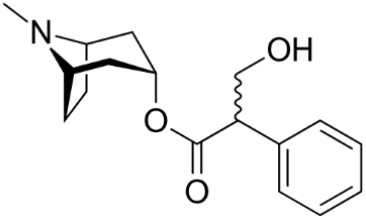
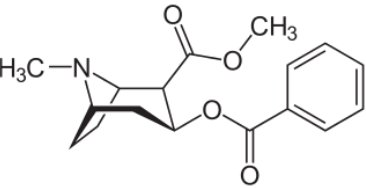
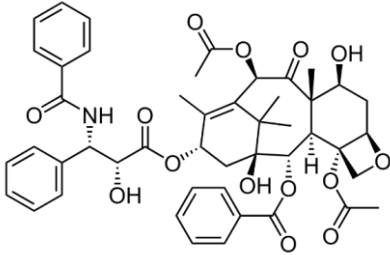
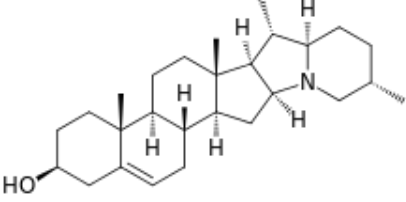
### 3.2 Delitev alkaloidov glede na kemijsko zgradbo

Alkaloide je glede na kemijsko zgradbo (prisotnost heterocikličnega obroča v molekuli spojine) mogoče deliti v več pomembnih skupin. Delitev prikazuje Preglednica 5.

Preglednica 5: Delitev alkaloidov glede na kemijsko zgradbo spojin

Alkaloidna skupina	Značilnosti skupine	Primer
indoli	<ul style="list-style-type: none"> <li>heterociklične aromatske spojine;</li> <li>sestavljani iz indolskega obroča – benzenov obroč, sklenjen s pirolskim obročem;</li> <li>tipični predstavniki so: strihnin, ibogain, vinka (iz madagaskarskega zimzelenja) ter ergot alkaloidi.</li> </ul>	 <p>Slika 13: Skeletna formula molekule ibogaina (Calvero, 2007)</p>
kinolini	<ul style="list-style-type: none"> <li>heterociklične aromatske spojine;</li> <li>higroskopne, brezbarvne tekočine z ostrim vonjem;</li> <li>molekula kinolina izhaja iz kombinacije kinina (alkaloid iz kininovca) in besede »oleum«, ki v latinščini pomeni olje;</li> <li>najbolj značilna predstavnika sta kinin in kinidin.</li> </ul>	 <p>Slika 14: Skeletna formula molekule kinina (Vaccinationist, 2016)</p>
izokinolini	<ul style="list-style-type: none"> <li>izomeri kinolina;</li> <li>šibke baze, ki so pri sobni temperaturi v trdnem agregatnem stanju (praškaste snovi);</li> <li>najbolj poznan predstavnik je morfin;</li> <li>sem spadata tudi beberin in emetin pridobljena iz rastlin.</li> </ul>	 <p>Slika 15: Skeletna formula molekule morfina (NEUROtiker, 2007)</p>

piridini	<ul style="list-style-type: none"><li>• osnovna heterociklična organska spojina;</li><li>• po strukturi podobni benzenu z eno metilno skupino (=CH-), ki je zamenjana z dušikovim atomom;</li><li>• lahko vnetljive, šibko bazične, vodotopne tekočine z značilno neprijetnim vonjem po ribah;</li><li>• tvorijo jih različne rastlinske vrste. Sem spada na primer trigonelin, ki se nahaja v grahu in ovsu. Ta je povsem nenevaren, medtem ko so določeni zelo strupeni, npr. nikotin, ki je sestavina tobaka.</li></ul>	 <p>Slika 16: Skeletna formula molekule nikotina (Harbin, 2008)</p>
piperidini	<ul style="list-style-type: none"><li>• spadajo pod heterociklične amine;</li><li>• brezbarvne tekočine z neprijetnim vonjem;</li><li>• najdemo jih pri popru (piperin), lobelijah (lobelin) in zelo strupenih kobulnicah rodu mišjak (koniin). Piperin ni strupen, medtem ko je koniin smrtno nevaren.</li></ul>	 <p>Slika 17: Skeletna formula molekule koniina (NEUROtiker, 2007)</p>
pirolizidini	<ul style="list-style-type: none"><li>• heterociklične organske spojine, ki tvorijo strukturo različnih alkaloidov;</li><li>• eni od petih razredov iminosladkorjev;</li><li>• pogosto sintetizirani iz ogljikovih hidratov;</li><li>• delovanje pirolizidinov povzroča kronično prizadetost jeter (fibriozna jeter);</li><li>• značilni za nekatere predstavnike nebinovk, na primer za repuhe, grinte, lapuh, gabeze;</li><li>• značilni tudi za predstavnike srhkolistnic, na primer gadovci in železniki, ter za kukavičevke, na primer grezovke.</li></ul>	 <p>Slika 18: Skeletna formula molekule retronecina (Fvasconcellos, 2008)</p>

<p>tropani</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• aminske biciklične organske spojine;</li> <li>• najbolj znana atropin in kokain ter malo manj poznana hiosciamin in skopolamin;</li> <li>• značilni za družino razhudnikovk (npr. za volčje češnje, zobnike in kristavce) in za družino kokovk.</li> </ul>	 <p>Slika 19: Skeletna formula molekule atropina (Harbin, 2009)</p>  <p>Slika 20: Skeletna formula molekule kokaina (NEUROtiker, 2007)</p>
<p>terpenoidi</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• z drugim imenom-izoprenoidi;</li> <li>• velik in raznolik razred naravno pojavljajočih organskih kemikalij, pridobljenih iz izoprena in njegovih polimerov;</li> <li>• večina jih ima večciklično strukturo s funkcionalno skupino, ki vsebuje kisik;</li> <li>• okoli 60 % znanih naravnih produktov.</li> </ul>	 <p>Slika 21: Skeletna formula molekula taxola (Calvero, 2007)</p>
<p>steroidni alkaloidi</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• vsebujejo organski obroč z značilnim dušikom na funkcionalnih skupinah;</li> <li>• ločljivi so po tetraciklični ciklopentan fenantrenski obliki, ki nakazuje njihovo bližnjo zvezo s steroidi;</li> <li>• sem uvrščamo solanin, solasodin in druge sorodne alkaloidne, ki so značilni za družini razhudnikovk. Najdemo jih v nezrelah plodovih paradižnika in jajčevcev, v pasjem zelišču, grenkosladu in v zelenih krompirjevih gomoljih.</li> </ul>	 <p>Slika 22: Skeletna formula molekule solandina (Edgar181, 2012)</p>

### 3.3 Delitev alkaloidov glede na farmakološke učinke spojin

Alkaloide lahko delimo tudi glede na farmakološke učinke spojin, ki alkaloide že od nekdanj uvrščajo kot strupe, snovi za evtanazijo ali kot zdravila (Grošelj idr., 2019). Preglednica 6 prikazuje delitev alkaloidov glede na farmakološke učinke spojin.

Preglednica 6: Delitev alkaloidov glede na farmakološke učinke spojin (Grošelj idr., 2019)

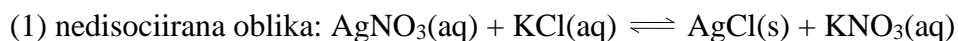
Terapevtska kategorija	Pomen	Primer
analgetiki	Zdravilo ali učinkovina, ki zmanjša občutek bolečine.	morfin
antiemetiki	Zdravilo ali učinkovina, ki preprečuje bruhanje.	skopolamin
antimalariki	Zdravilo ali učinkovina, ki se uporablja za zdravljenje malarije.	kinin
antimigreniki	Zdravilo ali učinkovina, ki se uporablja za lajšanje migrenskega glavobola.	ergotamin
antitusiki	Zdravilo ali učinkovina, ki pomirja kašelj.	kodein
bronhodilatatorji	Učinkovina, ki sprošča gladke mišice v steni dihalne cevi in zato olajšuje izmenjavo plinov med pljuči in okolico.	efedrin
lokalni anestetiki	Učinkovina, ki zavira nastanek in prevajanje akcijskega potenciala v živčnih vlaknih in povzroči lokalno in reverzibilno neobčutljivost tkiva na zunanje dražljaje.	kokain
spazmolitiki	Zdravilo, ki zmanjšuje tonus in preprečuje krče v gladkem mišičju.	atropin
vazokonstriktorji	Učinkovina, ki povzroči krčenje gladkih mišičnih celic v steni krvnih žil, poveča periferni upor in posledično zviša arterijski krvni tlak.	psevdoefedrin

Alkaloide lahko identificiramo z več različnimi reakcijami, na tem mestu pa so izpostavljene tiste najbolj specifične.

### 3.4 Dokazne obarjalne reakcije za alkaloide

Obarjanje ali precipitacija je proces nastanka oborine (trdnine ali precipitata) iz raztopine. Primer obarjalne reakcije je na primer reakcija med vodno raztopino srebrovega nitrata(V) in vodno raztopino kalijevega klorida. Pri reakciji med navedenima snovema ionske zgradbe nastane oborina – slabo topna sol težke kovine, srebrov klorid, AgCl, ki je značilne bele barve.

Opisano obarjalno reakcijo lahko na simbolni ravni predstavimo z različnimi zapisi enačb kemijskih reakcij:



(2) ionska oblika:  $\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{NO}_3^-(\text{aq}) + \text{K}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{AgCl}(\text{s}) + \text{K}^+(\text{aq}) + \text{NO}_3^-(\text{aq})$

(3) neto ionska oblika:  $\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{AgCl}(\text{s})$

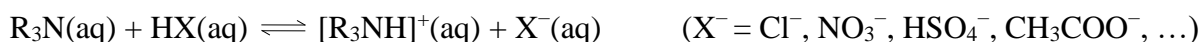
Za splošno kvalitativno dokazovanje prisotnosti alkaloidov v izoliranem rastlinskem vzorcu obstaja več različnih dokaznih obarjalnih reakcij, izpostavljene so štiri najpogostejše: (1) Dragendorffov test, (2) Mayerjev test, (3) Wagnerjev test in (4) Hagerjev test.

Za lažje razumevanje navedenih obarjalnih reakcij je v nadaljevanju za dokazovanje prisotnosti alkaloidov v vzorcu bolj natančno predstavljen Dragendorffov test. Vse pomembnejše informacije ostalih testov, pomembnih za razumevanje in izvedbo laboratorijske vaje, prikazuje Preglednica 7. (Slapničar in Boh Podgornik, 2021, 159).

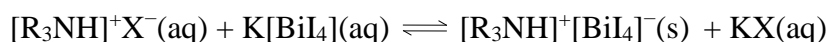
### **Dragendorffov test**

Test izvajamo z Dragendorffovim reagentom (*odkritelj in nemški farmacevt Johan Georg Dragendorff (1836–1898)*), ki je rdeče-rjava kisl raztopina bizmutovega nitrata(V) in kalijevega jodida. Dokaz za prisotnost alkaloidov v vzorcu je nastanek značilne oranžno-rdeče oborine.

Veliko alkaloidov ima v svoji heterociklični strukturi kovalentno vezan terciaren dušikov atom, ki reagira bazično in s kislino tvori ustrezno, v vodi dobro topno amonijevo sol:



Med nastalo, v vodi dobro topno amonijevo soljo in kalijevim jodobizmutatom(III) poteče obarjalna kemijska reakcija, pri kateri med raztopino amonijeve soli in raztopino jodobizmutatnih anionov nastane oborina oranžno-rdeče barve:



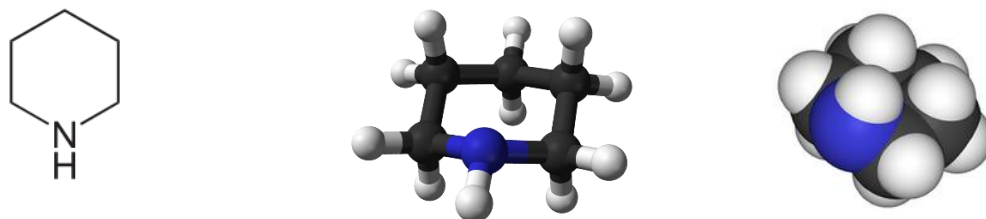
Odenki barve oborine so odvisni od vrste alkaloida, ki ga dokazujemo. Na podoben način lahko razložimo tudi dokazne reakcije za ostale teste, Preglednica 7. (Slapničar in Boh Podgornik, 2021, 159).

Preglednica 7: Značilnosti testov dokaznih reakcij za prisotnost alkaloidov v vzorcu (Slapničar in Boh Podgornik, 2021, 159)

<b>Ime testa</b>	<b>Kemijska sestava reagenta</b>	<b>Dokaz prisotnosti alkaloidov</b>
Dragendorffov test	Kisl raztopina bizmutovega nitrata(V) in kalijevega jodida.	oranžno-rdeča oborina
Mayerjev test	Vodna raztopina živosrebrovega diklorida in kalijevega jodida.	belo-kremasta oborina
Wagnerjev test	Vodna raztopina kalijevega trijodida.	rdeče-rjava oborina
Hagerjev test	Vodna raztopina pikrinske kisline (2,4,6-trinitrofenol).	rumena oborina

## 4 PIPERIN

Piperin je alkaloid, ki se pojavlja v rastlinah iz družine poprovk (lat. Piperaceae). Glede na kemijsko zgradbo ga uvrščamo v alkaloidno skupino piperidinov. Piperidin (tudi heksahidropiridin, azacikloheksan, pentametenamin ali azinan) (Slika 23) je šestčlenski heterociklični sekundarni amin z molekulsko formulo  $(CH_2)_5NH$  (Chopra idr., 2016). V Preglednici 8 so prikazane fizikalne lastnosti piperidina.



Slika 23: Skeletna formula, slika krogličnega in kalotnega modela molekule piperidina (NEUROtiker, 2008; Mills, 2008)

Heterociklični obroč piperidina najdemo v številnih naravnih alkaloidih, kot na primer v:

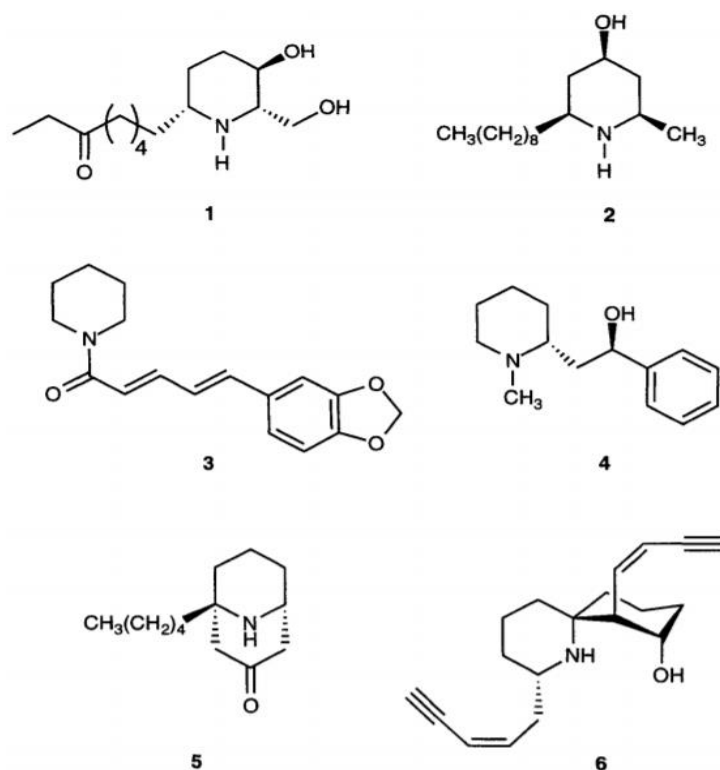
- (1) piperinu, ki daje črnemu popru značilen vonj ter začinjen in oster okus,
- (2) strupu solenopsinu, ki ga izločajo ognjene mravlje rodu *Solenopsis*,
- (3) anabasinu, ki velja za nikotinovo imitacijo divjega tobaka (*Nicotiana glauca* L.),
- (4) lobelinu iz indijskega tobaka (*Nicotiana tabacum* L.),
- (5) koniinu, ki je strupen alkaloid iz strupenega pikastega mišjaka (*Conium maculatum* L.), s katerim so zastrupili Sokrata ipd.

Preglednica 8: Fizikalne lastnosti piperidina

Fizikalna lastnost snovi	
Agregatno stanje pri standardnih pogojih	hlapljiva tekočina
Barva	brezbarvno
Vonj	oster vonj zmesi popra in amonijaka
Molska masa [g/mol]	85,15
Gostota [g/mL]	0,862
Temperatura tališča [°C]	- 7
Temperatura vrelišča [°C]	106

Piperidin in njegovi derivati se kot izhodne spojine, snovi z bazičnimi lastnostmi in lastnostmi nepolarne organskega topila pogosto pojavljajo v različnih organskih sintezah, med drugim tudi v sintezi farmacevtskih izdelkov (analeptiki, vazodilatatorji, nevroleptiki in opiodi).

Slika 24 prikazuje nekaj primerov piperidinskih alkaloidov.



Slika 24: Skeletne formule nekaterih piperidinskih alkaloidov (Ojima in Iula, 1999, str. 374)

Glavni predstavnik v skupini piperidinskih alkaloidov je piperin (3) (Slika 24), poleg njega pa se v listih, deblu in koreninah drevesa ene izmed vrst afriškega meskita (*Prosopis africana* Taub L.) pojavlja tudi prosopinin (1) z molekulsko formulo  $C_{16}H_{33}NO_3$  (Slika 24), ki se lahko uporablja kot lokalni anestetik. V skupino piperidinskih alkaloidov sodijo tudi:

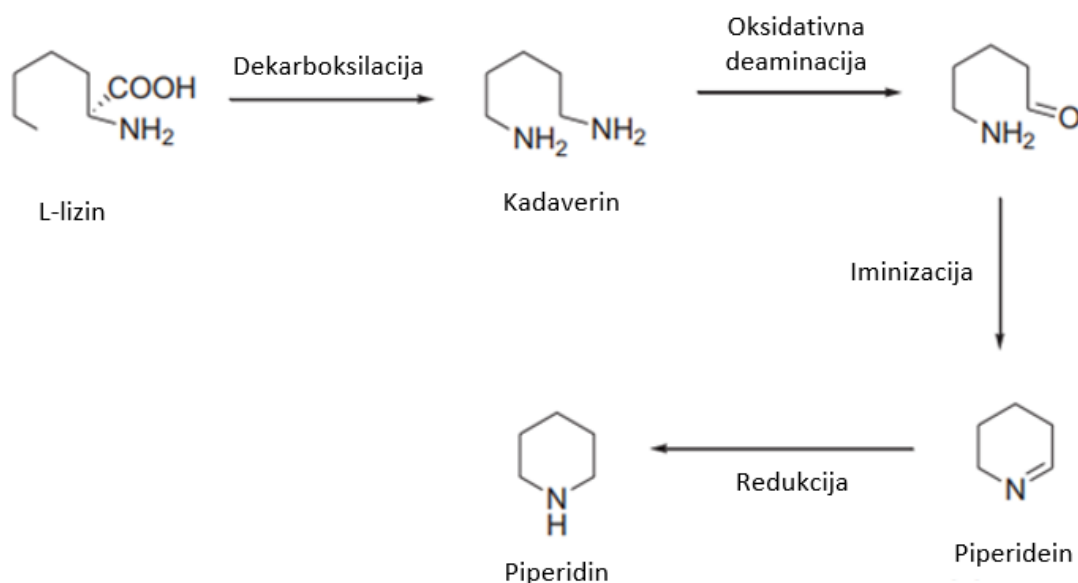
- piperidin 241D (2) z molekulsko formulo  $C_{15}H_{31}NO$ , ki so ga izolirali iz strupenih žab (*Dendrobates speciosus* L). Tipična lastnost piperidina 241D je zaviranje delovanja živčnega prenašalca acetilholina.
- Sedamin (4) z molekulsko formulo  $C_{14}H_{21}NO$ , ki so ga izolirali iz zelnote trajnice ostre homulice (*Sedum acre* L.). Sedamin kompetitivno inhibira oksidazo diamina pri grahu.
- Adalin (5) z molekulsko formulo  $C_{13}H_{23}NO$ , ki so ga pridobili iz evropske dvopikčaste pikapolonice (*Adalia bipunctata* L.) in v živalskem svetu velja za enega izmed vrst obrambnih alkaloidov.
- Histrionikotoksin (6) z molekulsko formulo  $C_{19}H_{25}NO$ , ki je sestavni del strupenega izločka kože *Dendrobates* žab. Histrionikotoksin blokira vezavo acetilholina na nikotinski živčni receptor pri sesalcih in plazilcih, prav tako pa inhibira mesta vezave, povezana z natrijevimi, kalijevimi in kalcijevimi kanali v možganskih membranah.

Glavni predstavnik te skupine alkaloidov, piperin, je sestavljen iz aromatskega (5-(3,4-metilendioksifenil) ter aminskega dela (piperidin), oba dela pa povezuje aciklična alifatska veriga (Ojima in Iula, 1999).



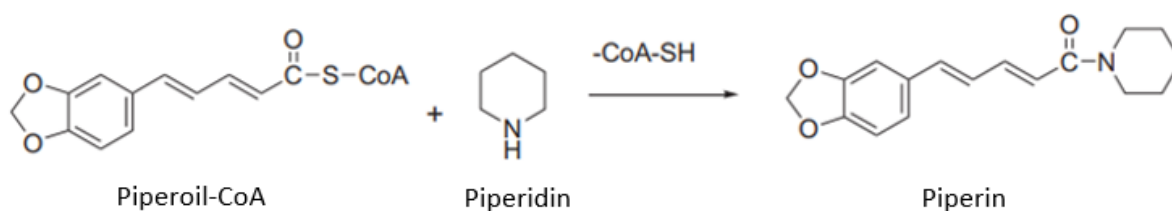
#### 4.1 Biosinteza piperina

Slika 25 prikazuje reakcijsko shemo biosinteze piperidina iz aminokislina L-lizina. V prisotnosti piridoksal 5'-fosfata poteče dekarboksilacija L-lizina do nastanka smrdljivega diamina kadaverina (pentan-1,5-diamin). Sledi reakcija neposredne oksidativne deaminacije kadaverina z encimom diamin oksidaze do nastanka amino aldehida, ki se nato v reakciji iminizacije ciklizira v piperidein. V zadnji stopnji biosinteze poteče redukcija piperideina v piperidin (Chopra idr., 2016).



Slika 25: Reakcijska shema biosinteze piperidina iz L-lizina (Chopra idr., 2016, str. 76)

Sintetiziran piperidin pri encimsko katalizirani reakciji s piperidin piperoiltransferazo v črnem poprovcu s tioestrom piperoil-CoA reagira v piperin (Slika 26) (Chopra idr., 2016).



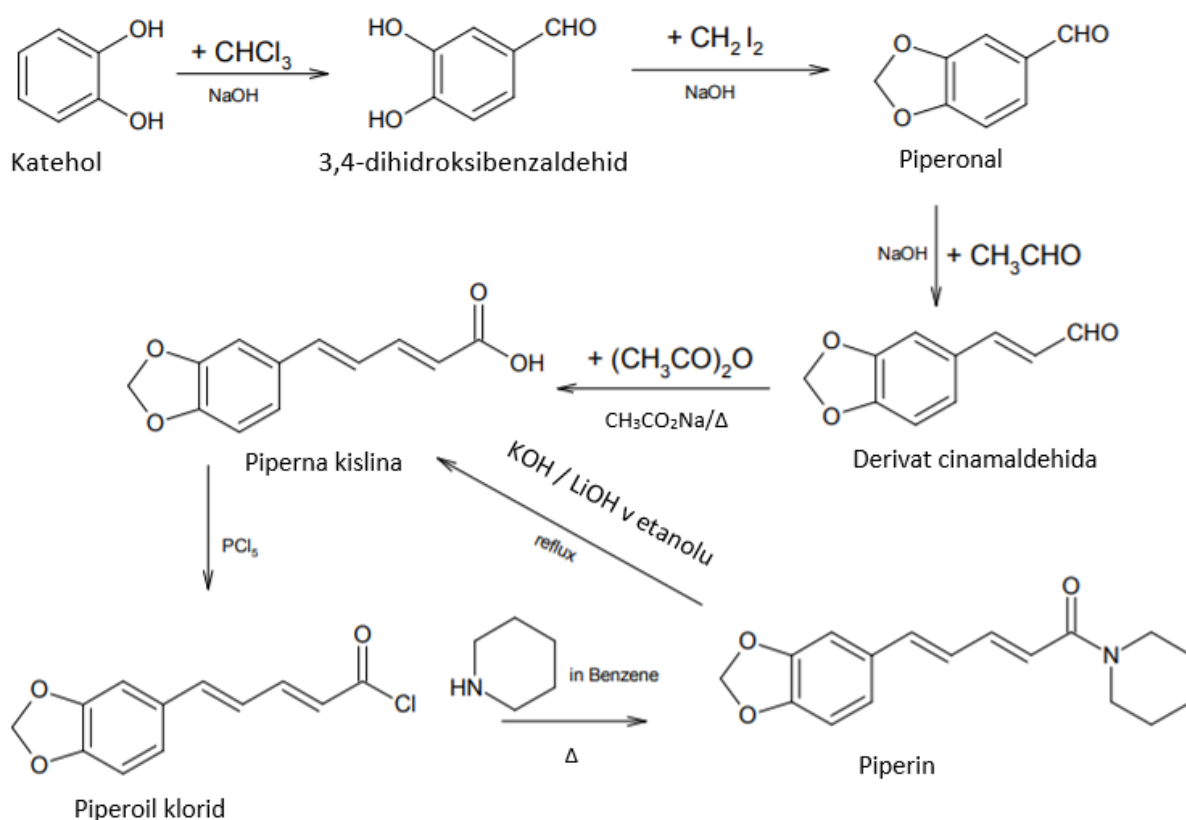
Slika 26: Reakcijska shema reakcije sinteze piperina (Chopra idr., 2016, str. 76)

## 4.2 Laboratorijska sinteza

Piperin umetno sintetiziramo v več stopnjah, vsaka od njih predstavlja svoj mehanizem ustrezne reakcije. Prva stopnja sinteze, ki se odvija po mehanizmu Reimer-Tiemannove reakcije, je reakcija sinteze 3,4-dihidroksibenzaldehyda iz katehola (*1,2-dihidroksibenzena*). Gre za reakcijo aktiviranih aromatskih spojin (npr. fenolov) – ortoformiliranje fenolov, pri kateri lahko predpostavimo reakcijo diklorokarbena, ki nastane iz kloroforma (triklorometana) v alkalnem kot elektrofila in fenolatnega iona kot aromatske spojine v elektrofilni aromatski substituciji (Slika 27). V nadaljnji stopnji sinteze piperonala oziroma heliotropina (*1,3-benzodioxol-5-karbaldehyd*) ob prisotnosti acetaldehyda v bazičnem mediju poteče aldolna kondenzacija piperonala v derivat cinamaldehyda (*cinamaldehyd ali (2E)-3-fenilprop-2-enal*) (Claisen-Schmidtova reakcija) (Slika 27).

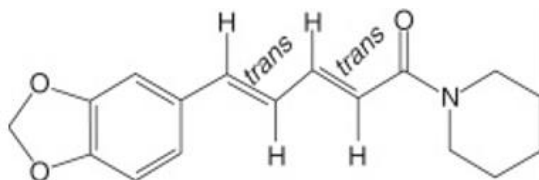
Nastali produkt nato v raztopini acetanhidrida in natrijevega acetata katalizirano kondenzira do nastanka piperne kisline (Perkinova reakcija), ki se ob dodatku fosforjevega pentaklorida pretvori v kislinski klorid piperoil klorid (Slika 27).

S segrevanjem piperoil klorida v zmesi piperidina in benzena pridobimo piperin. Iz piperina lahko piperino kislino pridobimo z reflusno alkalno hidrolizo v etanolu (Okwute idr., 2013).



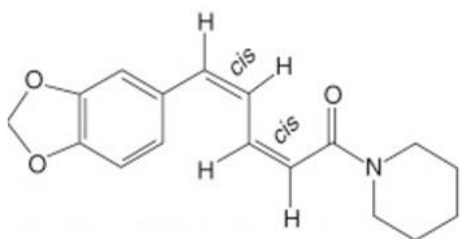
Slika 27: Reakcijska shema laboratorijske sinteze piperina (Okwute idr., 2013, str. 110)

Piperin (*E,E*-(*trans-trans*)-piperin) (Slika 28) je spojina z molekulsko formulo  $C_{17}H_{19}NO_3$  ( $M_r = 285,34$ ). IUPAC-ovo ime spojine je 1-[5-(1,3-benzodioksol-5-il)-1-okso-2,4-pentadienil]piperidin. V naravi kar 98 % piperina najdemo v črnem poprovcu (*Piper nigrum* L.), v popolnoma čisti obliki pa ga lahko pridobimo le v laboratoriju.

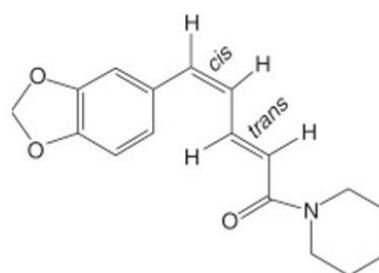


Slika 28: Skeletna formula molekule piperina (Gorgani idr., 2017, str. 124–125)

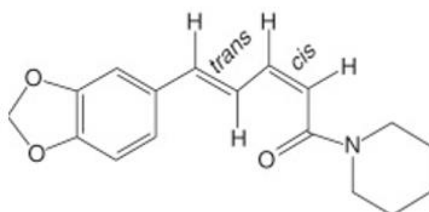
Piperin je kristalinična spojina rumene barve, ki je pri sobni temperaturi v trdnem agregatnem stanju. Tališče ima pri temperaturi med 128 in 130 °C, njegovo vrelišče pa je temperatura, pri kateri spojina razpade. Je šibka baza, ki je v vodi slabo topna (40 mg/L), kar pa je poleg tega, da lahko deluje toksično na centralni živčni in reprodukcijski sistem, vzrok, da je uporaba piperina v farmacevtski industriji omejena. V nasprotju z vodo je piperin dobro topen v alkoholu, etru in v klorofomu. Rastopina piperina z alkoholom ima poprast okus. Piperin lahko z močnimi kislinami tvori soli (Gorgani idr., 2017). Piperin ima tri geometrijske izomere: kavicin, izokavicin in izopiperin (Slika 29).



Skeletna formula molekule kavicina  
Z,Z-(cis-cis)-piperin



Skeletna formula molekule izokavicina  
E,Z-(trans-cis)-piperin



Skeletna formula molekule izopiperina  
Z,E-(cis-trans)-piperin

Slika 29: Geometrijski izomeri molekule piperina (Gorgani idr., 2017, str. 124–125)

Pri preučevanju presnovne poti piperina je mogoče ugotoviti več različnih metabolitov in njihovih konjugatov. Med pomembnejšimi lahko izpostavimo piperino in piperonilno kislino, piperonilni alkohol, piperonal in vanilinsko kislino (Tiwari idr., 2020).

Čeprav se črni poper že dolgo uporablja, je o biološki aktivnosti piperina in surovega ekstrakta iz rastlin na voljo malo podatkov. Piperinski ekstrakt ima stimulativen učinek na dihanje in povzroča mišične krče pri miših in psih. Piperin zavira implantacijo, povzroča splav in zakasnen porod pri miših. Za miši, podgane in tudi hrčke je piperin akutno toksičen, če ga v telo dodamo intravenozno. Njegova toksičnost se zmanjša, če ga v telo vnesemo intragastrinalno, subkutano in intramuskularno. Poleg načina vbizgavanja na toksičnost piperina v živalih vpliva tudi starost, spol in vrsta živali, pa tudi koncentracija piperina. Višja koncentracija piperina običajno tvori koloid v vodnem mediju, kar posledično vodi v njegovo manjšo adsorpcijo. Takojšnje odzive na dražljaje in krče so opazili pri vseh živalskih vrstah, ki so bile zdravljene s piperinom na različne načine (Piyachaturawat idr., 1983; Singh idr., 2014). Za piperin so značilne raznolike biološke aktivnosti. Piperin deluje protivnetno, protirakavo, antivirusno, proti larvicidno, pesticidno, antidepresivno, antialergijsko, protiastmatično, antireumatoidno, antimikrobno, antioksidativno, analgetično, antimutageno, antipiretično, antiapoptozno, antiepiletično, antiartritično, hepatoprotektivno in anticitotoksično. Piperin se lahko uporablja za upočasnjevanje napredka Alzheimerjeve bolezni, deluje tudi proti driski. Poznan je kot ojačevalec biološke uporabnosti. Za izboljšanje biološke uporabnosti so uporabljene tudi različne kombinacije piperina z razpoložljivimi tržnimi zdravili (Damanhour in Ahmad, 2014; Singh idr., 2014; Tiwari idr., 2020; Vasavirama in Upender, 2014).

### **4.3 Piperin kot »bioojačevalec«**

Bioojačevalci so snovi, ki povečajo biološko uporabnost in učinkovitost zdravilne učinkovine, s katero so le-ti v kombinaciji. Ključna lastnost bioojačevalca na uporabljenem odmerku delovanja zdravilne učinkovine je ta, da bioojačevalec nima svoje farmakološke aktivnosti. Rezultati raziskav kažejo, da je piperin zaradi sposobnosti zaviranja določenega glikoproteina in encima, ki imata ključno vlogo pri presnovi ksenofobičnih sredstev, v kombinaciji s temi sredstvi tudi potencialni bioojačevalec (Tiwari idr., 2020).

Obstajajo različne prednosti uporabe bioojačevalca s kombiniranim zdravljenjem, kot na primer:

- (1) Zaradi povečanja biološke dostopnosti se povečuje učinkovitost zdravila.
- (2) Kombinacija bioojačevalca z zdravilom zmanjšuje njegovo odmerjanje.
- (3) Nevarnost na odpornost zdravila je v kombinaciji z bioojačevalcem lahko minimalizirana.
- (4) Neugoden učinek zdravila in njegova toksičnost se minimalizirata z zmanjšanjem odmerjanja. To posebej velja za zdravila proti raku, kot je na primer Taxol.
- (5) Ekološke prednosti oziroma koristi.
- (6) Bioojačevalci lahko zmanjšajo tako notranjo kot zunanjo spremenljivost, če povečajo dostopnost zdravil.

Eden od razlogov za efekt bioojačevalca piperina je pripisan vplivu piperina na encime, ki sodelujejo pri presnovi zdravil, kot so mešane oksidazne funkcije, katere najdemo v jetrih in črevesnih celicah.

Piperin lahko zavira interakcijo s procesom oksidativne fosforilacije ali s postopkom aktiviranja oziroma deaktiviranja nekaterih presnovnih poti. Na ta način upočasni presnovo in biorazgradnjo zdravil (Wadhwa idr., 2014).

#### **4.4 Antioksidativna aktivnost piperina**

Piperin zavira delovanje prostih radikalov in reaktivnih delcev kisika, zato je poznan po tem, da ima zaščitne učinke pred oksidativnimi poškodbami. Za črni poprovec (*Piper nigrum* L.), v katerem najdemo piperin, so ugotovili, da preprečuje oksidativen stres z inhibicijo peroksidacije lipidov. Testi na podganah so pokazali, da so odmerki alkoholnega ekstrakta črnega poprovca znatno izboljšali učinkovitost spomina in dokazali antioksidativen potencial. Znano je, da ima ekstrakt črnega popra antioksidativno vlogo proti aterogeni dieti, ki inducira oksidativni stres (Damanhoury in Ahmad, 2014).

#### **4.5 Protirakava aktivnost piperina**

Alkoholni ekstrakt piperina ima učinkovite imunomodulatorne in antitumorne aktivnosti. Piperin zmanjšuje možnosti pljučnega raka s spremembo peroksidacije lipidov in zaščitnih antioksidativnih encimov. Piperin ima poleg protirakave aktivnosti tudi različne farmakološke aktivnosti. Znano je, da piperin zavira razmnoževanje človeških endotelijskih celic v žilah popkavnine in angiogenezo (*proces rasti novih krvnih žil iz že obstoječih*), ki jo povzročita kolagen in rak na dojkah v zarodku. Zavira tudi fosforilacijo določenih proteinov, ki so potrebni za angiogenezo in za funkcije endotelijskih celic. Prav zato bi bil piperin kot inhibitor angiogeneze lahko uporaben za zdravljenje raka, saj angiogeneza igra ključno vlogo pri napredovanju tumorjev. Znano je, da mehanizmi protirakaste aktivnosti piperina ugodno delujejo proti celicam raka prostate, katerih delovanje je odvisno od odmerka piperina. Ugotovljeno je bilo, da je zdravljenje s piperinom uporabno za zmanjševanje apoptoze (*programirana celična smrt, za katero so značilni krčenje vsebine celice, razpad jedra in citoplazme v telesca, odstranitev iz tkiva in razgradnja brez sproščanja za organizem škodljivih snovi*) (Damanhoury in Ahmad, 2014).

#### **4.6 Antidepresivne aktivnosti piperina**

Antidepresivom podoben učinek piperina so preverjali pri naravnem hormonu kortikosteronu, ki povzroča depresijo pri miših. Po treh tednih injekcij kortikosterona se je pri miših razvilo čudno vedenje, podobno depresiji. Kortikosteron je povzročil vedenjske in biokemične spremembe. Rezultati poskusa zdravljenja s piperinom so pokazali, da ima piperin na povečano koncentracijo kortikosterona antidepresiven učinek (Damanhoury in Ahmad, 2014).

## 5 TUJERODNE INVAZIVNE VRSTE

Z izrazom tujerodne vrste poimenujemo organizme (virusi, glive, bakterije, rastline ali živali), ki jih je človek prinesel v neko novo okolje, kjer jih prej ni bilo. Po definiciji je »tujerodna vrsta« vrsta, podvrsta ali takson nižje kategorije, ki je vnesen zunaj območja pretekle ali sedanje razširjenosti. To vključuje katerikoli organizem oziroma katerekoli dele organizmov, ki lahko preživijo in so sposobni razmnoževanja. Tujerodne vrste so posledica svetovnega trgovanja in potovanja ljudi. V Evropo je vsako leto nanesenih ogromno tujerodnih organizmov. Večina jih v okolju ne preživi, ker se novemu okolju ne morejo prilagoditi ali pa jih je premalo za razmnoževanje. Po definiciji Konvencije o biološki raznovrstnosti je »invazivna vrsta« tujerodna vrsta, ki se je ustalila in se širi ter s tem ogroža ekosisteme, habitate ali vrste. Svetovna zveza za varstvo narave (IUCN) pa pojem invazivne tujerodne vrste obravnava kot tujerodne, ki ogrožajo zdravje ljudi, gospodarstvo in/ali domorodno biotsko raznovrstnost (Kus Veenvliet, 2018). Poleg tujerodnih, poznamo še domorodne vrste, ki so opisane kot »vrsta, podvrsta ali nižji takson, ki živi na območju svoje običajne (pretekle ali sedanje) naravne razširjenosti, tudi če se tu pojavlja le občasno« (Kus Veenvliet, 2018).

### 5.1 Problem tujerodnih invazivnih rastlin

#### 5.1.1 EKOSISTEMSKA ŠKODLJIVOST

Približno 10 % tujerodnih rastlin obstane in približno 10 % teh postane invazivnih. To pomeni, da so se prilagodile in se začele nekontrolirano širiti in začele izpodrivati domorodne vrste in uničevati njihove naravne habitate (Lukanc, 2018).

Razširjanje invazivnih rastlin privede do velikega zmanjšanja vrstne pestrosti in je zato obstoj posameznih rastlinskih ali živalskih vrst ogrožen. Prehranske verige se porušijo in veliko členov v njih je ogroženih, saj izgubijo vir hrane (Lešnik, 2017) Rastlinske združbe lahko spremenijo tudi ekosistemske storitve, kot so izguba življenjskega prostora (npr. gnezdišča), viri energije za ljudi, izguba hranil in energije, ki jih prinesejo reke. Ne zadržujejo več vode in hranilnih snovi, ne omogočajo razkroja strupenih snovi in podobno. Primeri teh ekstremov so npr. grmičaste združbe, ki iz močvirja naredijo suho travišče ali obratno – naredijo puščavo. Invazivne rastline imajo lahko prav tako velik vpliv na populacijsko dinamiko žuželk, ki so pomembne za opraševanje (Bartomeus idr., 2010).

#### 5.1.2 ŠKODLJIVOST ZA ZDRAVJE LJUDI IN ŽIVALI

Najbolj problematična od invazivk in najbolj poznana je gotovo ambrozija, ki poleg tega med vsemi najbolj negativno vpliva na človeško zdravje – povzroča dihalne alergije, saj je vetrocvetka z izredno alergenim pelodom (Jogan idr., 2012). Zdravju škodljivi so tudi naslednji učinki invazivk: povzročanje kontaktnih dermatitisov (npr. dežnji – *Heracleum spp.*), povzročanje poškodb na očeh, koži in dihalih zaradi kontakta z dlačicami, ki se sprostijo iz

rastlin (npr. divja bučka - *Sicyos spp.*), zastrupitve zaradi uživanja delov svežih zeli zaradi zamenjave z drugimi gojenimi rastlinami ali pomanjkljivega čiščenja pri pripravi jedi (npr. grinti – *Senecio spp.*), zastrupitve zaradi mletja semen v moko (npr. kristavci – *Datura spp.*), vdihavanje strupenih hlapov, sproščenih iz rastlin (npr. loščevci - *Toxicodendron spp.*) in drugo. Bolj eksotičen primer je pogojna strupenost medu, kadar se čebele pasejo na invazivnih rastlinah (primer na rastlinah rodu *Melaleuca spp.* in *Rhododendron spp.*) (Morton, 1969).

### 5.1.3 ŠKODLJIVOST V KMETIJSKI PRIDELAVI

Invazivne rastline lahko zaraščajo travniško pašne površine in jih s tem uničijo ali zmanjšajo. Škodo v kmetijski pridelavi predstavljajo tudi običajni pleveli kot ogrožanje zdravja domačih živali, omogočanje pojava novih bolezni in škodljivcev. V nekaterih primerih povzročajo tudi neuporabnost zemljišč za gojenje določenih vrst gojenih rastlin. Posledica pojava novih plevelov je povečan vnos kemikalij zaradi kemičnega zatiranja. Pleveli tudi povečujejo stroške pridelave ter zmanjševanje količine ter kakovosti pridelka (Lešnik, 2017).

### 5.2 Pozitivni vplivi tujerodnih vrst

Kljub številnim negativnim vplivom imajo invazivne rastlinske vrste tudi nekaj pozitivnih lastnosti. Nekatero invazivno rastline zagotavljajo čebeljo pašo v poznem jesenskem času (kanadska in orjaška zlata rozga, robinija), medtem ko večina avtohtonih vrst že odcveti. Mnoge invazivne rastlinske vrste se uporabljajo tudi v prehrani (mladi poganjki japonskega dresnika za marmelado, kompote, pite; topinambur). Številne invazivne tujerodne rastline imajo veliko okrasno vrednost zaradi lepih in izrazitih barv. Priljubljene so zaradi trpežnosti in nezahtevnega gojenja. Običajno se hitro razrastejo in jih ljudje radi uporabljajo za žive meje. Invazivne rastline zaradi velike biomase lahko proizvedejo več kisika. Nekatero vrste z močnim koreninskim sistemom pomagajo pri utrjevanju brežin, nekatere druge, kot so robinija in volčji bob, pa bogatijo tla z dušikom (Žontar, 2016).

### 5.3 Kako postane rastlina invazivna

Rastlina, ki pride v novo okolje in tam nima naravnega sovražnika, lahko tam raste neovirano in se hitreje razmnožuje. Ko vrsta pride v novo okolje, se nanj začne tudi hitro genetsko prilagajati. Bolj prilagojeni osebki v naravi se naravno selekcionirajo in tako lahko tujerodna vrsta dobi prednost pred avtohtono. Tujerodne rastline lahko uspešno uporabijo neizkoriščene vire v novem okolju in tako zapolnijo prazno nišo. Na invazivnost tujerodne vrste v nekem habitatu pa vpliva tudi količina oz. število vnesenih primerkov, semen ipd. Ekosistemi, ki imajo večjo biotsko raznovrstnost, so po navadi bolj odporni proti invazivnosti vnesenih vrst kakor tisti z manjšim številom vrst (Hierro idr., 2005).

Prednost pri širjenju imajo tiste, ki imajo sposobnost samooploditve, ali pa tiste, ki se bolje prilagajajo klimatskim in talnim razmeram. Lažje se širijo tudi tiste, ki nimajo v bližini nobenih bližnjih sorodnikov, npr. iz istega rodu (Randall, 1996).

#### **5.4 Širjenje invazivnih tujerodnih vrst**

Nekatere tujerodne vrste je človek naselil namerno. Cilj je bil, da bi se vrste v okolju ustalile in bi se njihove populacije same ohranjale, človek pa bi imel od njih določeno korist (Žontar, 2016). Velik problem pa predstavlja nenamerno širjenje. V Sloveniji se mnogo invazivnih rastlin širi s peskom. Problem so peskokopi, saj se pesek razvaža na nova območja in tako pospešuje širjenje (Bibič, 2016).

Ko je tujerodna vrsta že ustaljena, se sama širi brez človeške pomoči. Izkorišča naravne vektorje, kot so voda, veter, ptice idr. (Žontar, 2016). Številne enoletnice, ki proizvedejo ogromne količine semen, katera lahko raznaša veter, lahko so v sočnih plodovih in jih raznesejo ptice, lahko pa se s kaveljčki oprijemljejo živali ali človeka. Lahko pa imajo rastline tudi same to sposobnost raznašanja semen, npr. nedotike lahko same odmečejo semena tudi več metrov daleč (Jogan idr., 2012).

#### **5.5 Ukrepi za odstranjevanje in nadzor**

##### **5.5.1 OZAVEŠČANJE**

Ljudje smo tisti, ki smo krivi za vnašanje tujerodnih vrst. Vrste lahko namerno naselimo ali pa so te vrste kot slepi potniki pripotovali z blagom ali ljudmi. Prav zato je ozaveščanje zelo pomembno za preventivno delovanje, s katerim želimo omiliti negativne vplive tujerodnih vrst. Problem je v tem, da ljudje zaznamo te vplive, ko je za naravo že prepozno, saj so vplivi že tako veliki. Določene skupine ljudi te rastline namerno naselijo, saj jim prinašajo koristi. Primer so okrasne rastline, ki se jim ljudje niso pripravljeno odreči, prav tako pa v naravi s svojo lepoto odvrtačajo pozornost od resnih negativnih vplivov na domorodne vrste (Kus Veenvliet in Veenvliet, 2016).

##### **5.5.2 UKREPI ZA ZATIRANJE INVAZIVNIH RASTLIN**

Dokler je vrsta le na majhnem območju, jo lahko poskusimo celotno odstraniti iz narave. Načini odstranjevanj so različni, saj ima vsaka vrsta svoje značilnosti. Po navadi je treba ukrepe odstranjevanja izvajati skozi daljše obdobje in nato spremljati, če se bo vrsta ponovno pojavila. Kadar širjenja ne moremo zaustaviti v zgodnjih fazah naselitve, se vrsta že tako razširi, da ni več možnosti popolne odstranitve te vrste in nam preostane le še možnost nadzorovanja.



Načini odstranjevanja so lahko mehanski (puljenje, žganje, košnja, paša), kemični (raba pesticidov za zatiranje plevela, škodljivcev ali rastlinskih bolezni, raba pesticidov predstavlja nevarnost za okolje) ali biotični (škodljive organizme odstranimo z živimi organizmi, ki so njihovi naravni sovražniki - paraziti, parazitoidi, patogeni, predatorji in kompetitorji) (Kus Veenvliet in Veenvliet, 2017).

## 5.6 Vplivi in posledice razraščanja invazivnih vrst

Za mnoge invazivne rastline je značilno, da so zelo uspešne pri naseljevanju odprtih površin, na primer ob cestah ali vzdolž vodotokov. Na takih površinah se hitro razrastejo in tvorijo goste sestoje, kar spremeni kemijske in fizikalne dejavnike (npr. količino svetlobe), ki niso več ustrezni za rast domorodnih rastlin. Tujerodne rastline se tako postopoma razraščajo na vse večjih površinah. Invazivne tujerodne vrste domorodnim vrstam jemljejo življenjski prostor, hrano, svetlobo ali druge življenjsko potrebne vire, kar pogosto vodi v izumrtje domorodne vrste (Bibič, 2016).

## 5.7 Napovedovanje invazivnosti

Težko je predvideti, katera vrsta bo postala invazivna, zato naj bi veljalo previdnostno načelo pri vseh vnesenih vrstah (Eler, 2018, 6). Težko je spremljati zgodovino širjenja posamezne vrste po Sloveniji, da bi lahko iz tega vedeli in napovedali nadaljnje širjenje iste vrste ali pa podobnih tujerodnih vrst (Jogan idr., 2012).

V projektu LIFE ARTEMIS so zato oblikovali dva seznama tujerodnih vrst, opazovalni in opozorilni seznam, s katerima bi si lahko pomagali.

### a) Opazovalni seznam

V opazovalnem seznamu so vrste, ki so vezane na gozdni ali obgozdni prostor in so pri nas že kar pogoste in prepoznavne kot invazivne tujerodne rastline. Tujerodne rastline na opazovalnem seznamu so (Kus Veenvliet, 2018):

- Balfourova nedotika (*Impatiens balfourii*)
- Peterolistna vinika (*Parthenocissus quinquefolia*)
- Enoletna suholetnica (*Erigeron annuus*)
- Pelinolistna žvrklja ali ambrozija (*Ambrosia artemisiifolia*)
- Drobnocvetna nedotika (*Impatiens parviflora*)
- Žlezava nedotika (*Impatiens glandulifera*)
- Navadna amorfa (*Amorpha fruticosa*)
- Thunbergov češmin (*Berberis thunbergii*)
- Ameriški javor (*Acer negundo*)
- Veliki pajesen (*Ailanthus altissima*)
- Rdeči hrast (*Quercus rubra*)

## b) Opozorilni seznam

Opozorilni seznam je seznam tujerodnih vrst, ki še niso prisotne v Sloveniji, a njihov pojav oziroma ustalitev pričakujejo v bližnjem obdobju. Te vrste so se v drugih državah že izkazale za invazivne, zato predvidevajo, da so lahko invazivne tudi pri nas. Na opozorilnem seznamu so tudi vrste, ki so sicer že prisotne v Sloveniji, a se pojavljajo le v majhnem številu in jih je z ustreznimi ukrepi še mogoče odstraniti.

Za uvrstitev na opozorilni seznam morajo biti izpolnjeni naslednji kriteriji: 1) habitat vrste vključuje gozdni prostor, 2) vrsta je v drugih državah s podobnimi razmerami že invazivna, 3) vrsta se pojavlja v bližini Slovenije ali pa je že lokalno prisotna, ampak jo je še mogoče izkoreniniti in 4) vrsta, ki je uvrščena na seznam tujerodnih vrst v EU. Tujerodne rastline na tem seznamu so (Malovrh in Kus Veenvliet, 2017):

- Kitajska glicinija (*Wisteria sinensis*)
- Bleščeca kalina (*Ligustrum lucidum*)
- Bela pamela, bisernik (*Symphoricarpos albus*)
- Navadna dojcija (*Deutzia scabra*)
- Mnogocvetni šipek (*Rosa multiflora*)
- Kalinolistni pokalec (*Physocarpus opulifolius*)
- Deljenolistna robida (*Rubus laciniatus*)
- Octovec (*Rhus typhina*)
- Bambusi (*Phyllostachys spp.*)
- Orjaški dežen (*Heracleum mantegazzianum*)
- Svečniški osat (*Cirsium candelabrum*)
- Severnoameriške nebine (*Symphotrichum spp.*)
- Mnogolistni volčji bob (*Lupinus polyphyllus*)
- Sahalinski dresnik (*Fallopia sachalinensis*)
- Himalajski dresnik (*Persicaria wallichii*)
- Navadna barvilnica (*Phytolacca americana*)
- Arauja (*Araujia sericifera*)
- Južnoafriški bršljan (*Delairea odorata*)
- Japonsko kosteničenje (*Lonicera japonica*)
- Robati kurbusnjak (*Sicyos angulatus*)
- Lisičja vinska trta (*Vitis vulpina*)
- Kudzu (*Pueraria montana var. lobata*)
- Japonski ali enoletni hmelj (*Humulus japonicus*)
- Grmasti slakovec (*Fallopia baldschuanica*)
- Čokoladna akebija (*Akebia quinata*)
- Navadna kustovnica, goji (*Lycium barbarum*)
- Maackovo kosteničje (*Lonicera maackii*)
- Sivi dren (*Cornus sericea*)
- Bodeča oljčica (*Eleagnus pungens*)
- Japonska medvejka (*Spiraea japonica*)
- Rdečeščetinava robida (*Rubus phoenicolasius*)
- Lovorikovec (*Prunus laurocerasus*)
- Zlati ribez (*Ribes aureum*)
- Ustnjatolistna mahonija (*Berberis bealei*)
- Navadna mahonija (*Berberis aquifolium*)
- Paulovnja (*Paulownia tomentosa*)
- Ameriški jesen (*Fraxinus americana*)
- Latnati mehurnik (*Koeleruteria paniculata*)
- Pozna čremsa (*Prunus serotina*)
- Navadna papirjevka (*Broussonetia papyrifera*)
- Ameriški koprivovec (*Celtis occidentalis*)
- Davidova budleja (*Buddleja davidii*)

## 5.8 Izbrane tujerodne invazivne vrste

### 5.8.1 JAPONSKI DRESNIK (*Fallopia japonica* (Houtt.) Ronse Decraene)

Japonski dresnik je od 2 do 3 metre visoka zelnata trajnica s podzemnimi koreniki, ki lahko segajo tudi več metrov v globino (Jogan idr., 2012). Japonski dresnik je invazivna tujerodna rastlina, ki s svojo hitro rastjo, alelopatijo in vegetativnim razmnoževanjem zavira rast sosednjih rastlin (Šoln, 2018). Izvira iz Vzhodne Azije, od koder je bil kot medonosna in poznocvetoča okrasna rastlina prinesen v Evropo, in sicer na Nizozemsko. V Evropi so vse rastline te vrste kloni oz. potomke materinske rastline, ki se je vegetativno namnožila (Eler, 2018). Taksonomska klasifikacija japonskega dresnika je predstavljena v Preglednici 9.

Preglednica 9: Taksonomska klasifikacija japonskega dresnika (ITIS, 2020)

Sistemska kategorija	Znanstveno ime
Kraljestvo	Plantae (rastline)
Deblo	Magnoliophyta (kritosemenke)
Razred	Magnoliopsida (dvokaličnice)
Red	Caryophyllales (klinčkovci)
Družina	Polygonaceae (dresnovke)
Rod	<i>Fallopia</i> (slakovec/dresnik)
Vrsta	<i>Fallopia japonica</i>

Steblo japonskega dresnika (Slika 30) je zeleno-rdeče barve, skoraj neolesenelo, votlo in kolenčasto členjeno. Listi (Slika 30) v dolžino merijo do 15 cm. So spiralasto, dvoredno nameščeni z listno škornjico (cevasto tvorbo, ki nastaja iz zraslih prilistov). Listi japonskega dresnika imajo kratke peclje. Po obliki so suličasti, koničasti, široko-jajčasti in imajo prisekano (ravno) dno. Na otip so čvrsti in gladki, vendar se na spodnji strani listov pojavljajo dlačice v obliki enoceličnih papil oz. kratkih izboklin. Japonski dresnik ima enospolne cvetove. Ženski cvetovi, ki izraščajo iz lista, so združeni v grozdasta mnogocvetna socvetja. Cvet sestavlja 5 belih cvetnih listov, izmed katerih se zunanji trije s širokimi robovi stikajo (Slika 30) (Strgulc Krajšek idr., 2016). Japonski dresnik ima zelo obsežen koreninski sistem, ki je sestavljen iz debelih olesenelih korenin, do 10 m dolgih, tankih stolonov (vodoravnih povezav med organizmi) in več kot 3 m globokih korenin (Eler, 2018). Plodovi japonskega dresnika so majhne, svetlo-rjave rožke, ampak te le redko nastanejo (Kus Veenvliet idr., 2019).



Slika 30: Socvetja (levo), listje (sredina) in steblo (desno) japonskega dresnika (Gasperl, 2005; Vincentz, 2007)

Japonski dresnik cveti v mesecih od julija do septembra, od oktobra naprej pa semena dozori. Za razmnoževanje japonskega dresnika je najpomembnejši vegetativni način razmnoževanja z ukoreninjanjem spodnjih delov stebel ali koščkov korenike oz. rizomov. Za razvoj nove rastline zadošča že precej majhen košček korenike, če vsebuje oko, iz katerega odženejo korenine in novo steblo. Manjši delež k širjenju rastline prispeva tudi spolno razmnoževanje, saj se lahko na dresnikih razvijejo zelo dobro kaljiva semena. Ker v Evropi ni moških rastlin japonskega dresnika, lahko tvori semena le ob oprraševanju s sahalinskim dresnikom. Slednje vodi do nastanka češkega dresnika, ki je križanec in prav tako lahko oprahuje japonski dresnik (Strgulc Krajšek idr., 2016).

Najbolj primerna rastišča za japonski dresnik so obrežja rek, ruderalna rastišča, gozdni robovi, gozdne jase, robovi gradbenih območij ter robovi železnic in cest. Pojavlja se v gostih sestojih, v katerih je zelo malo drugih rastlin (Strgulc Krajšek idr., 2016). Japonskemu dresniku za rast najbolj ustrezajo sveža do zmerno vlažna tla, ki so dovolj bogata s hranilnimi snovmi. Prav tako mu ustrezajo sončna rastišča, kjer tvori goste sestoje. Japonski dresnik lahko preživi tudi v senci dreves (npr. v logu), kjer so zaradi manjše količine sončne svetlobe sestoji nekoliko redkejši. Njegovi nadzemni deli so zelo občutljivi na mraz, medtem ko podzemni deli zdržijo tudi do temperature  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Eler, 2018).

Japonski dresnik se je po Evropi najprej razširil s sajenjem sadik v javnih nasadih, zasebnih vrtovih in botaničnih vrtovih, kasneje pa so k širjenju prisostvovali premiki zemljine ob vodotokih in gradbenih delih (Eler, 2018). Iz Kitajske, Tajvana, Japonske in Koreje je bil japonski dresnik vnesen v Avstralijo, Novo Zelandijo, Severno Ameriko in Evropo, kjer predstavlja močno invazivno vrsto. Prvi primer japonskega dresnika na Slovenskem so zabeležili ob Savinji pri Celju. Danes je prisoten že po skoraj vseh Sloveniji, izjemo predstavlja le submediteransko območje, kajti japonski dresnik ne uspeva na kraških in sušnih območjih. Najbolj ugodni pogoji za rast japonskega dresnika v Sloveniji so območja ob rekah in potokih (npr. brežine Velenjskega in Škalskega jezera), medtem ko je manj

pogost v alpskem območju. Vzrok za to je, da japonski dresnik le redko doseže nadmorsko višino 1000 m (Frajman, 2008).

Japonski dresnik prvotno ni uspeval na našem ozemlju, v Slovenijo je bil vnesen iz drugih evropskih držav, kamor so ga vnesli iz Vzhodne Azije, zato ga označujemo s terminom tujerodna rastlina. Zaradi tega, ker na določenih mestih s svojo rastjo popolnoma izpodriva domorodno vegetacijo in ker spreminjanja življenjski prostor nekaterih živali, japonski dresnik uvrščamo med 100 najbolj invazivnih rastlinskih vrst na svetu (Meh Peer idr., 2016). Uspešno in hitro širjenje japonskega dresnika omogoča alelopatija. Zlasti zaradi fenolnih spojin (stilbeni, katehini in kinoni), ki se nahajajo v japonskem dresniku in delujejo kot alelokemikalije, katere zavirajo kalitev nekaterih rastlin (npr. velike koprive) (Ivanuša idr., 2017).

Japonski dresnik ni le invazivna rastlina, ampak ima tudi pozitivne vplive na naše zdravje. Zaradi vsebnosti resveratrola in emodina ekstrakte iz te rastline uporabljajo v japonski in kitajski tradicionalni medicini (Frajman, 2008).

Japonski dresnik zaradi podzemnih stebel, iz katerih pogajajo novi poganjki, težko zatiramo. Vendar kljub temu poznamo nekatere metode zatiranja te rastline. Te metode lahko ločimo na fizično odstranitev rastline in škropljenje rastlin s herbicidi. Med metode za fizično odstranitev rastline štejemo izčrpanje koreninskega sistema in redno pašo ovac. V zvezni državi Oregon jim je z injiciranjem herbicida z injekcijsko brizgalko v steblo uspelo v nekaj letih zmanjšati populacijo japonskega dresnika za 80 %. Pri zatiranju japonskega dresnika s sistematičnimi herbicidi lahko ti (zlasti glifosat) vplivajo na kakovost voda v okolici, zato ta metoda ni najbolj primerna za odstranjevanje japonskega dresnika ob vodotokih (Kus Veenvliet, 2013).

Uporaba teh sredstev kljub nekaterim negativnim vplivom na okolje omogoča mnogo hitrejši način zatiranja japonskega dresnika kakor uporaba fizičnega odstranjevanja rastline. Fizično odstranjevanje japonskega dresnika je zelo dolgotrajen proces, saj je potrebno več let zapored puliti ali kositi mlade poganjke in izkopavati korenike. Nato pa je potrebno previdno zavreči odpadni material, npr. s sušenjem in sežigom, ker bi se drugače lahko ponovno zakoreninil. S fizičnim odstranjevanjem najbolje dosežemo učinke zatiranja pri manjših populacijah, še posebej na začetku njihovega širjenja. Pri zatiranju razraščanja japonskega dresnika je pomembno, da upoštevamo nekatere preventivne ukrepe, in sicer da korenik ne širimo, npr. s transportom zemlje pri gradnji in drugih podobnih dejavnostih. Učinkovit preventivni ukrep širjenja japonskega dresnika je tudi prepoved gojenja v okrasne in čebelarske namene (Frajman, 2008).

## 5.8.2 ZLATA ROZGA (*Solidago* spp.)

### Opis rastline

Rod zlatih rozg (*Solidago* spp.) uvrščamo v družino nebinovk (Asteraceae). Značilnost nebinovk je njihovo socvetje, njeni posamični cevasti in jezičasti cvetovi so združeni v košek, oprasovalno enoto, ki jo obdaja ovojek, sestavljen iz zelenih ovršnih listov. Ovojek obdaja socvetje tako, da ima košek videz enega samega cveta. Zlate rozge imajo v koških dve vrsti cvetov: na robu socvetja so jezičasti cvetovi, v sredini socvetja pa cevasti cvetovi. Večinoma vse vrste iz rodu *Solidago* rastejo v Ameriki, le nekatere vrste najdemo v Evropi in Aziji. V Sloveniji najdemo tri vrste: navadno zlato rozgo (*Solidago virgurea* L.) in tujerodni kanadsko zlato rozgo (*Solidago canadensis* L.) in orjaško zlato rozgo (*Solidago gigantea* Aiton). Kanadska in orjaška zlata rozga izvirata iz Severne Amerike. V Evropo so ju prinesli v 18. stoletju kot okrasni rastlini, čez približno 100 let pa se je razširila v naravo (Ozimič, 2018).

### Rastne zahteve

Orjaška zlata rozga in kanadska zlata rozga imata podobne rastne zahteve. Ustrezajo jima razmeroma globoka, sveža do vlažna tla. Pogosti sta na opuščeni ali redko oz. pozno košeni vlažni travnikih, steljnikih, ob robovih gozda, ob rekah, v jarkih, v topolovih nasadih in na različnih ruderalnih površinah. Prenašata redkejšo košnjo, ob pogosti košnji in paši ali obdelavi tal pa ne uspevata dobro. Ustrezajo jima različni tipi rastišč z različno teksturo tal, osvetljenostjo, prisotnostjo hranil v prsti ali vlažnostjo prsti (Eler, 2018).

### Razmnoževanje

Lokalno se širita kanadska in orjaška zlata rozga zelo hitro zaradi dolgih in trpežnih korenin, ki prezimijo in iz njih nato poganjajo novi nadzemni poganjki (Ozimič, 2018). Na večje razdalje pa se razmnožujeta z drobnim semenom. Na posameznem stebelu je tudi do 10.000 semen, ki se razširjajo celo jesen in pozimi. Seme se pretežno širi s pomočjo vetra, vode pa tudi s človekovo dejavnostjo. Seme je v tleh razmeroma obstojno, vendar za kalitev potrebuje odprta tla, saj v gosti travni ruši težje kali (Eler, 2018).

### Invazivnost

Vrsti spadata med najbolj agresivni invazivni vrsti v Evropi. Razširjeni sta po vsej Sloveniji. S svojimi gostimi sestoji izrazito izpodrivata domače rastlinske vrste. S tem prizadeneta tudi vrste žuželk in ptic, ki so vezane na naše rastline ali rastlinske združbe. Gosti sestoji zlate rozge zmanjšujejo tudi krmno vrednost travne ruše, saj vrsti izpodrivata bolj kakovostne domače rastline (Eler, 2018).

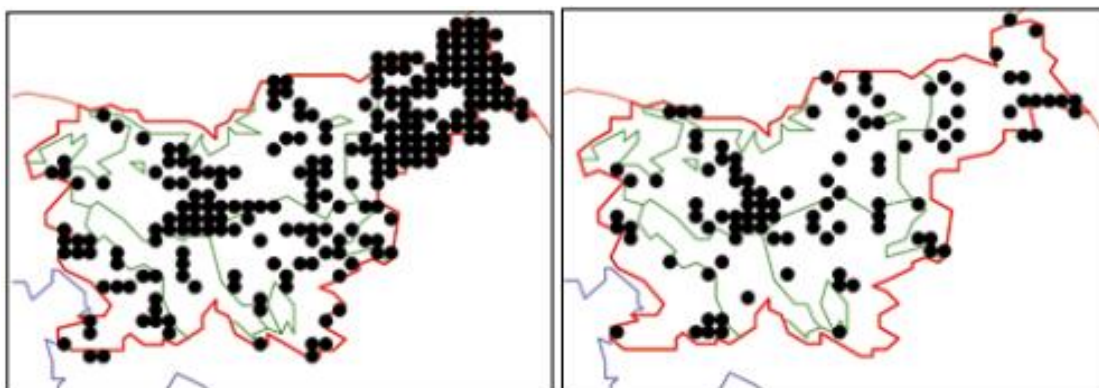
## **Ukrepi za preprečitev širjenja in zatiranje**

Za preprečitev širjenja zlate rozge s semenom je treba preprečiti tvorbo semen ter odpravljati površine, kamor se zlata rozga lahko nasemeni (gole, odprte površine, neporasle brežine, nasipališča, opuščena travišča in njive, gozdne poseke ipd.). Nekateri preventivni ukrepi za preprečevanje širjenja so prepovedane prodaje in sajenja v okrasne in druge namene, nadzor gradbenih mest in nasipov gradbenega materiala ter obveščanje javnosti (Eler, 2018).

Zatiranje zlate rozge je zelo zahteven do nemogoč proces. Površine s posameznimi manjšimi otoki zlate rozge je najbolj učinkovito večkratno ročno očistiti s puljenjem in izkopavanjem. Po izkopavanju je potrebna hitra ozelenitev tal, da preprečimo ponovno kalitev. Puljenje je bolj učinkovito, ko so rastline večje in pri dnu delno olesenele (v mesecu juniju in juliju), saj jih s tem ne trgamo, hkrati pa iz tal odstranimo tudi dele korenin (Eler, 2018). Odstranjene necvetoče poganjke lahko kompostiramo, cvetoče pa je treba oddati v sežig. Tudi izkopane podzemne dele je treba dati v sežig (Strgulc Krajšek idr., 2016). Na površini pojavnost zmanjšujemo z večkratno košnjo (vsaj dvakrat letno, maja in avgusta), s tem zlate rozge sicer ne izkoreninimo, so pa sestoji redkejši in med njimi uspevajo tudi domače travniške vrste. Pri enovrstnih sestojih lahko uporabimo nekatere herbicide, po njihovi uporabi je treba površine čim prej ozeleniti z razmeram prilagojenimi semenskimi mešanicami oz. trosenjem senenega drobirja. Rešitev je tudi pogozditev preraščenih površin, saj zlata rozga težko uspeva v gosti podrasti dreves, posebej iglavcev. Škodljivcev in bolezni, ki bi vplivali na rast zlate rozge, pri nas ni (Eler, 2018).

## **Razširjenost po svetu in v Sloveniji**

Orjaška zlata rozga in kanadska zlata rozga sta naravno razširjeni v Severni Ameriki, (ZDA, Kanada) vzhodno od Skalnega gorovja. V Evropo in tudi k nam sta prišli kot okrasni vrsti, nezahtevni za vzdrževanje. Najprej so ju gojili v botaničnih vrtovih, od tam pa se je gojitev širila tudi na zasebne vrtove. Danes sta razširjeni v večini Srednje, Vzhodne in Zahodne Evrope, manj zastopani pa sta v Severni Evropi in v Sredozemlju. V Sloveniji sta splošno razširjeni (Slika 31) in sodita med najbolj težavne invazivne vrste. Manj pogosti sta v alpskem svetu, na Krasu in na območju obsežnih gozdov (Eler, 2018).



Slika 31: Razširjenost orjaške zlate rozge (levo, Jogán idr., 2012, str. 46) in kanadske zlate rozge (desno, Jogán idr., 2012, str. 45) v Sloveniji

#### 5.8.2.1 Kanadska zlata rozga (*Solidago canadensis* L.)

Kanadska zlata rozga je zelnata trajnica, ki zraste do 2 m. Steblo je zgoraj, predvsem v socvetju, gostodlakavo. Listi so podolgovate do suličaste oblike, ki so spiralno nameščeni, imajo zelo kratke peclje in so spodaj gostodlakavi. Na vrhu poganjkov je razvejano socvetje s številnimi koški, dolgimi 2–3 mm, rumeni jezičasti cvetovi so komaj daljši od ovojka (Slika 32). Plod rastline je 0,9–1,2 mm dolga rožka z do 2,5 mm dolgim šopom laskov. Čas cvetenja je od avgusta do oktobra (Jogán idr., 2012). Taksonomska klasifikacija kanadske zlate rozge je predstavljena v Preglednici 10.

Preglednica 10: Taksonomska klasifikacija kanadske zlate rozge (USDA, 2020)

Sistemska kategorija	Znanstveno ime
Kraljestvo	Plantae (rastline)
Deblo	Magnoliophyta (kritosemenke)
Razred	Magnoliopsida (dvokaličnice)
Red	Asterales (košarnice)
Družina	Asteraceae (nebinovke)
Rod	<i>Solidago</i> (zlata rozga)
Vrsta	<i>Solidago canadensis</i> L.





Slika 32: Naravno rastišče (levo), gostodlakavo steblo (sredina) in socvetje (desno) kanadske zlate rozge (Trčak, 2020)

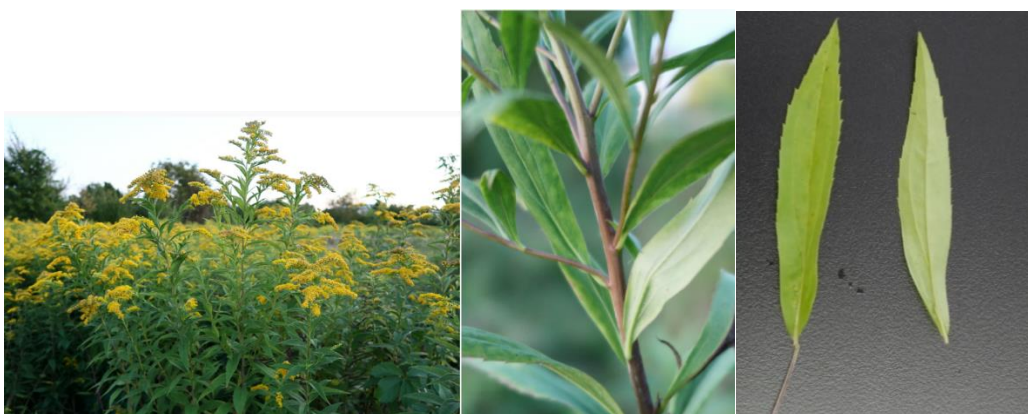
Kanadska zlata rozga je bila v Sloveniji prvič omenjena leta 1937 (Eler, 2018). Sedaj je vrsta razširjena po vsej Sloveniji (Jogan idr., 2012). Julija 2011 so izvedli analizo tujerodnih vrst na slovenskih zavarovanih območjih. Analiza je pokazala, da se kanadska zlata rozga pojavlja v Triglavskem narodnem parku, Parku Škocjanske jame, Notranjskem regijskem parku, Kozjanskem parku, Krajinskem parku Kolpa, Krajinskem parku Ljubljansko barje in Krajinskem parku Goričko (Kus Veenvliet in Humar, 2011).

#### 5.8.2.2 Orjaška zlata rozga (*Solidago gigantea* Aiton.)

Orjaška zlata rozga je zelnata trajnica, ki zraste od 30 do 280 cm visoko. Steblo je golo, v celoti olistano, razvejano je le v socvetju. Listi so podolgovate do suličaste oblike, ki so spiralno nameščeni in imajo zelo kratke peclje. Večinoma so listi goli, redkeje pa so na spodnji strani nekoliko dlakavi (Slika 33). Na vrhu poganjkov je razvejano socvetje s številnimi koški, ki so daljši kot pri kanadski zlati rozgi. Dolgi so 3–4 mm. Cvetove imajo rumene barve, cevaste ali jezičaste oblike ter presegajo dolžino ovojka (Ozimič, 2018). Plod rastline je 1–1,8 mm dolga rožka z do 4 mm dolgim šopom laskov (Jogan idr., 2012). Čas cvetenja je od julija do oktobra, vrhunec cvetenja pa je avgusta (Ozimič, 2018). Taksonomska klasifikacija orjaške zlate rozge je predstavljena v Preglednici 11.

Preglednica 11: Taksonomska klasifikacija orjaške zlate rozge (USDA, 2020)

Sistemska kategorija	Znanstveno ime
Kraljestvo	Plantae (rastline)
Deblo	Magnoliophyta (kritosemenke)
Razred	Magnoliopsida (dvokaličnice)
Red	Asterales (košarnice)
Družina	Asteraceae (nebinovke)
Rod	<i>Solidago</i> (zlata rozga)
Vrsta	<i>Solidago gigantea</i> Aiton



Slika 33: Naravno rastišče (levo), golo steblo (sredina) ter zgornja in spodnja stran listne ploskve (desno) orjaške zlate rozge (Trčak, 2020)

Orjaška zlata rozga v svojem naravnem okolju v Ameriki ni tako uspešna kot v Evropi. Evropske sestoje predstavljajo višje rastline z večjimi socvetji ter številčnejšimi in močnejšimi koreniki. Prav tako so vrste odporne na herbivore, kar jim omogoča hitrejše širjenje. Rastišča v Evropi so za orjaško zlato rozgo ugodna, širi pa se tudi s pomočjo človeka, saj jo uporablja predvsem za zdravstvene namene (Ozimič, 2018). V Sloveniji je bila orjaška zlata rozga prvič omenjena leta 1859 (Eler, 2018). Sedaj pa je razširjena že po celi Sloveniji (Jogan idr., 2012). Julija 2011 so izvedli analizo tujerodnih vrst na slovenskih zavarovanih območjih. Analiza je pokazala, da se orjaška zlata rozga pojavlja v Triglavskem narodnem parku, Parku Škocjanske jame, Notranjskem regijskem parku, Kozjanskem parku, Krajinskem parku Kolpa, Krajinskem parku Ljubljansko barje in Krajinskem parku Goričko (Kus Veenvliet in Humar, 2011).

### 5.8.3 KALINOLISTNI POKALEC (*Physocarpus opulifolius* (L.) Maxim.)

Kalinolistni pokalec je do 3 metre visok listopadni grm, ki je močno razvejan. Iz vzhoda Severne Amerike so ga leta 1890 vnesli v Slovenijo kot okrasno rastlino. Danes ga zaradi njegove invazivnosti najdemo na opozorilnem seznamu tujerodnih rastlinskih vrst v Sloveniji (Kus Veenvliet idr., 2019). Taksonomska klasifikacija kalinolistnega pokalca je predstavljena v Preglednici 12.

Preglednica 12: Taksonomska klasifikacija kalinolistnega pokalca (ITIS, 2020)

Sistemska kategorija	Znanstveno ime
Kraljestvo	Plantae (rastline)
Deblo	Magnoliophyta (kritosemenke)
Razred	Magnoliopsida (dvokaličnice)
Red	Rosales
Družina	Rosaceae (rožnice)
Rod	<i>Physocarpus</i> (pokalec)
Vrsta	<i>Physocarpus opulifolius</i> (L.) Maxim

Mlade veje kalinolistnega pokalca obdaja gladka, rjavorumena skorja. Starejše veje pa obdaja sivorjavo lubje, ki se pozimi lušči v obliki vzdolžnih trakov. Listi kalinolistnega pokalca so pecljati, široko-jajčasti, dolgi do 10 cm ter dlanasto deljeni na 3 do 5 krp. Listni rob je nazobčan, zgornja stran listov je temnozeleno barve, spodnja stran pa je nekoliko svetlejša. Pri gojenih oblikah so lahko listi tudi rumenozelene ali rdeče barve. Cvetovi kalinolistnega pokalca (Slika 34) so beli, nameščeni v polkroglastih kobulih in v širino merijo približno 1 cm. Iz vsakega izmed običajno petih pestičev se razvije svetel, mehurjasto napihnjen mnogosemnski mešiček oz. plod (Slika 34). Nezreli plodovi so zeleni do rumeno rjavi, ob zrelosti pa pordečijo. Jeseni zreli plodovi počijo in raztresejo semena (Kus Veenvliet idr., 2019).



Slika 34: Socvetje (levo), naravno rastišče (sredina) ter plodovi (desno) kalinolistnega pokalca (Vošnjak, 2020; Gavrilov, 2019)

Kalinolistni pokalec cveti v mesecih od maja do julija. Semena dosežejo zrelost v času med avgustom in novembrom. Kalinolistni pokalec se s semeni razmnožuje spolno. Razmnožuje se tudi nespolno z ukoreninjanjem vej, kar je eden izmed razlogov za njegovo invazivnost (Strgulc Krajšek idr., 2016). Najprimernejša rastišča za kalinolistni pokalec so peščena in kamnita tla, pogosto raste na gozdnih robovih, brežinah vodotokov in prodiščih rek. Na slovenskem ozemlju se širi predvsem ob velikih rekah v osrednji Sloveniji (Kus Veenvliet idr., 2019). Kalinolistni pokalec se v Sloveniji pojavlja tudi na dveh zavarovanih območjih, in sicer v Kozjanskem ter Triglavskem narodnem parku (Kus Veenvliet in Humar, 2011). Podivjan okrasni grm negativno vpliva na avtohtono rastlinstvo, saj se uspešno vegetativno razmnožuje z ukoreninjanjem vej. Na ta način domorodnim rastlinam zaseda življenjski prostor ter z njimi tekmuje za sončna mesta in anorganske snovi. Obstaja več načinov za odstranjevanje kalinolistnega pokalca. Eden izmed njih je izsek grmov in izkop podzemnih delov. Pri zatiranju kalinolistnega pokalca je učinkovito tudi obročasto zarezovanje lubja, pri katerem izrežemo približno 10 cm širok pas lubja okoli debla in s tem prekinemo tok snovi po rastlini. Če porežemo odcvetela socvetja, preden se iz njih razvijejo plodovi, lahko preprečimo tudi spolno razmnoževanje kalinolistnega pokalca. Ker se lahko odstranjeni deli rastline ponovno ukoreninijo, je pomembno, da jih na primeren način odstranimo (npr. s sežigom) (Strgulc Krajšek idr., 2016).

## 6 ALELOPATIJA

Izraz alelopatija izvira iz grški besed "allelon" in "patos". Allelon pomeni razmerje do drugega, pathos pa pomeni poškodovati drugega. Običajno se izraz uporablja za izražanje zaviranja rasti rastline s sproščanjem kemikalij v okolje iz druge rastline. Izraz je uvedel Hans Molisch leta 1937 za opis učinka etilena, ki nastaja z zorenjem plodov (Tesio in Ferrero, 2010). Alelopatija je torej biološki pojav, ko rastline proizvajajo sekundarne metabolite, imenovane alelokemijske spojine oziroma alelokemikalije in tako vplivajo na rast in razvoj drugih organizmov v okolju (Narwal, 2010).

Alelopatija je pozitiven ali negativen vpliv ene rastline na drugo (Lovett in Ryuntyu, 1992). Alelopatske spojine lahko pripomorejo k boljšim simbiotskim odnosom med rastlinami in glivami ali med rastlinami in bakterijami (Reinhart in Callaway, 2006), vendar večina alelopatskih spojin drugim rastlinam škoduje, saj te nanje niso prilagojene (Callaway in Aschehoug, 2000), posledično pa sta lahko zavrti kalitev in rast rastlin (Šoln, 2018). Raziskave kažejo, da okoljski dejavniki, kot so temperatura, sevanje, hranilne snovi in pomanjkanje vode, povečujejo škodljive učinke alelokemikalij. Negativni vpliv predstavlja tudi tekmovanje za izkoriščanje virov, npr. rastline, ki proizvajajo alelokemikalije, vplivajo na večjo kolonizacijo mikoriznih gliv (Tesio in Ferrero, 2010).

### 6.1 Alelokemikalije

Alelokemikalije so večinoma sekundarni rastlinski produkti, ki so v rastlinah prisotne v listih, lubju, koreninah, cvetovih in plodovih in se v okolje sproščajo z razpadom rastlinskih ostankov, s koreninskimi izločki in z izhlapevanjem ali odcejanjem z rastlin (Weir idr., 2004; Reigosa idr., 1999; Khanh idr., 2005) ter negativno vplivajo na rast in razvoj organizmov v bližini. Spojine z alelopatskimi učinki lahko razdelimo v tri širše skupine: 1) fenoli, 2) terpeni in 3) dušik vsebujoče spojine (Rac, 2013). Snovi, ki se jim pripisuje alelopatsko delovanje, spadajo v različne ožje skupine glede na kemično zgradbo: fenoli (predvsem fenolne kisline), flavonoidi (rutin, kvercetin), terpeni (nekateri monoterpeni), dušik vsebujoče spojine (alkaloidi, glukozinolati), kinoni (juglon) itd. Zaradi kemične raznolikosti teh snovi te delujejo na različne procese v rastlinah, recimo na fotosintezo, dihanje, vodno in hormonsko ravnotežje (Rizvi idr., 1992). Koncentracije in lokacije v tkivih se razlikujejo od vrste do vrste. Na koncentracijo vplivajo sezonske spremembe in okoljski pogoji (pH tal, temperatura, UV-svetloba, prisotnost drugih rastlin in rastlinojedcev) (Ferguson idr., 2003).

Fenoli so sekundarni rastlinski metaboliti in hkrati skupina, ki ji je bilo na področju alelopatije namenjenih največ raziskav (Farooq idr., 2011). Med fenole uvrščamo fenolne kisline in sorodne spojine, flavonoide, tanine ter lignin, suberin in kutin (Rac, 2013). Flavonoidi, ki predstavljajo eno največjih skupin rastlinskih fenolov, so prisotni večinoma v vakuolah rastlinskih celic, v plodovih, cvetovih in listih (Likar in Regvar, 2003).



Čeprav so fenolom kot alelokemikalijam v raziskavah posvetili precej pozornosti, nekatere izmed njihovih lastnosti ne ustrezajo osnovnemu konceptu alelokemikalij. Fenoli so ene izmed najbolj razširjenih snovi in imajo najmanj specifično delovanje. Največkrat se pojavljajo v mešanicah, koncentracije posameznih spojin v tleh pa so po navadi nižje od tistih, ki so potrebne za znatno delovanje v poskusih. Zaradi slednjega alelopatski učinek fenolov najverjetneje ni posledica delovanja posamezne spojine, ampak različnih snovi hkrati (Einhellig, 2004). Različne fenolne spojine celične funkcije napadajo na več mestih, imajo podobne principe delovanja in različno toksičnost. Posledica različnih fizioloških učinkov fenolov je splošna citotoksičnost (strupenost za celice). Fenoli vplivajo na celične membrane (poveča se prepustnost), spreminjajo prevodnost korenin in ionske tokove. Poleg tega vplivajo tudi na delovanje različnih hormonov in encimov (Seigler, 2006). Inhibitorna funkcija fenolov je odvisna od njihove koncentracije (Einhellig, 2004).

Alakaloidi spadajo med dušik vsebujoče snovi (Roberts in Wink, 1998). Pogosta vloga alkaloidov je zaščita pred rastlinojedi, patogeni in konkurenčnimi rastlinami. Alkaloidi zavirajo kalitev ter rast sosednjih rastlin (Haig, 2008).

#### 6.1.1 PRODUKCIJA IN IZLOČANJE ALELOKEMIKALIJ

Alelokemikalije iz rastlin preidejo v okolje na več različnih načinov: z razkrojem nadzemnih in podzemnih delov rastlin, z izločanjem iz korenin, s hlapenjem iz listov, s površine žlez in listov pa jih spirata tudi megla (Del Moral in Muller, 1969) in dež (Whittaker in Feeny, 1971).

Spojine so pri prehodu od vira do tarčnega organizma podvržene mnogim dejavnikom. Ko vstopijo v okolje, se začnejo odvijati procesi, ki so med seboj povezani in jih v grobem lahko razdelimo na transformacijo, zadrževanje ter transport. Na učinkovitost alelokemikalij vplivajo okoljski pogoji, prisotnost drugih spojin, prisotni organizmi in lastnosti tal (Cheng, 1992).

Transformacija vključuje fotokemične, kemične in biokemične procese, ki zmanjšujejo količino izhodnih snovi. Pri teh procesih se spojine lahko delno spremenijo, kar pomeni, da postanejo kompleksnejše ali enostavnejše in bolj ali manj strupene, lahko pa se v celoti razgradijo in s tem izgubijo toksičnost. V prsti je glavni način transformacije biokemična transformacija, saj so tako rastline kot mikroorganizmi zmožni razgradnje spojin z različnimi encimi. Aktivnost teh rastlin in mikroorganizmov je odvisna od vlage, razpoložljivosti kisika in hranil, temperature ter od lastnosti prsti. Kadar so spojine izpostavljene sončni svetlobi, poteka fotokemična transformacija. V kemično transformacijo, ki je odvisna od sestave prsti, pa so vključeni različni procesi, kot so redukcija, oksidacija, substitucija, polimerizacija in hidroliza (Cheng, 1992).

### 6.1.2 VPLIVI ALELOKEMIJSKIH SPOJIN

Izločene alelokemikalije lahko spremenijo lastnosti prsti ter njeno hranilno vrednost. Prisotnost alelopatskih molekul lahko spremeni tudi aktivnost organizmov, ki živijo v tleh (npr. glist, žuželk, mikroorganizmov) in njihove populacije. Alelokemikalije vplivajo na odpornost, prevodne elemente, genetski material in na številne procese v rastlinah, kot so dihanje, aktivnost encimov, fotosinteza, uravnavanje hormonov, privzem mineralov, sinteza proteinov in pigmentov, prepustnost membrane, zapiranje in odpiranje listnih rež, rast pelodovega mešička in fiksacija dušika (Rizvi idr., 1992). Učinke alelopatskih molekul na metabolizem rastlin lahko označimo s terminom primarni učinki. Sekundarni učinki alelopatskih spojin so spremembe, ki jih pri rastlinah lahko vidimo in so posledica primarnih učinkov. Med sekundarne učinke alelokemikalij uvrščamo pospešitev ali zaviranje rasti rastnega vršička korenine ali stebila in zamik ali zaviranje kalitve semen (Lovett in Ryuntyu, 1992).

### 6.2 Rastline z izrazitim alelopatskim delovanjem

Sirek (*Sorghum* spp.) je najbolj raziskovana poljščina glede na njen alelopatski potencial. Cheema in Khaliq (2000) sta pripravila vodni ekstrakt po 24-urnem namakanju zrelih rastlin sirka v vodi in zabeležila 35–49 % inhibicije na gostoto plevela in biomase v pšenici. Raziskava je pokazala, da je vodni ekstrakt (10 %) sirka pokazal različne alelopatske učinke. Ko so vodni ekstrakt sirka uporabili pri pšenici, je ta deloval zaviralno na rast plevela (Cheema, idr., 2013).

Sončnica (*Helianthus annuus*) je prav tako znana kot rastlina z alelopatskim delovanjem. Sončnica vsebuje veliko fenolnih spojin in terpenoidov, zlasti seskviterpenov s širokim spektrom bioloških aktivnosti, tudi alelopatskim delovanjem. V vodnih ekstraktih sončničnih listov so zaznali večjo vsebnost fenolov kot v vodnem ekstraktu stebel. V listih so zaznali pet spojin, ki so znane kot alelokemikalije (klorogenska, kofeinska, vanilinska in ferulna kislina), tri v stebelu (klorogenska, ferulna in vanilinska kislina) in samo eno v koreninah (ferulna kislina). Ugotovili so, da uporaba vodnega ekstrakta iz listov sončnice zavira rast plevela od 33 do 53 %. Vodni ekstrakti listov so pokazali največji alelopatski vpliv med ostalimi deli sončnice (Cheema idr., 2013).

Evkaliptus (*Eucalyptus camaldulensis*) velja za eno izmed najbolj alelopatskih dreves, saj vsebuje veliko različnih alelokemikalij. Khan in sodelavci (1999) so poročali o inhibitornem delovanju vodnih ekstraktov evkaliptusovih listov na kalivost in rast številnih poljščin. Že nekaj desetletij pa so znani tudi inhibitorni učinki murve (*Morus* spp.) na kalitev in rast stročnic (Cheema idr., 2013).

### 6.3 Preučevanje alelopatije

Alelopatijo se običajno raziskuje v laboratoriju, kjer so kontrolirani rastni pogoji. Alelopatska aktivnost se najpogosteje kaže kot zakasnjena ali inhibirana kalivost semen in zmanjšana ali povečana rast korenin ter poganjkov. Študije kažejo, da je zavrtost kalivosti sorazmerna s koncentracijo ekstrakta oz. alelopatske spojine. V zgodnji fazi so rastline bolj občutljive na dejavnike iz okolja, saj imajo večjo metabolno aktivnost (Cheng, 1992).

Za preučevanje alelopatije je standardna metoda primerjava uspevanja testne vrste ob dodatku listnega izvlečka druge vrste ter ob dodatku kontrolnega preparata, ki vsebuje le destilirano vodo. Zaželeno je uporaba več različnih koncentracij izvlečka, saj s tem dobimo širši vpogled na njegovo delovanje (Rúa idr., 2008). Težava omenjene metode je, da dobljene rezultate težko ocenimo kot posledico alelopatije ali kot posledico kompeticije za vire (Lau idr., 2008). Z dodatkom aktivnega oglja poskus lahko izboljšamo, saj aktivno oglje adsorbira različne tipe alelokemikalij in izniči njihov učinek, hkrati pa skoraj ne vpliva na dostopnost mineralov. Ob uporabi aktivnega oglja skupaj z listnim izvlečkom neke vrste se uspevanje testne vrste izboljša in tako smo lahko bolj gotovi o alelopatskem učinku prve vrste (Rúa idr., 2008). Obstaja tudi druga verzija metode z aktivnim ogljem, pri kateri testne rastline izpostavimo izvlečku neke vrste ob prisotnosti ali odsotnosti tekmovanja za vire skupaj z aktivnim ogljem ali brez njega (Nilsson, 1994). Prednost te tehnike je, da lahko z njo ocenimo tako alelopatski učinek kot tudi stopnjo kompeticije na testne rastline. Omenjeno metodo lahko uporabimo le v primeru, ko lahko iz izvlečka izoliramo posamezne učinkovine (Lau idr., 2008).

Dejansko stanje v ekosistemu najbolje odražajo poskusi, ki jih izvedemo v naravi (in situ). Pri tem se moramo ves čas zavedati, da so ekosistemi preplet več kompleksnih dejavnikov, zaradi katerih pri takšnih eksperimentih ne moremo z gotovostjo trditi, da je opaženo stanje res posledica alelopatskega učinka določene vrste (Inderjit in Nilsen, 2003). Alelopatski učinek izvlečka neke vrste velikokrat ocenjujemo na podlagi števila skaljenih semen testne vrste, preko merjenja dolžine poganjkov, korenin ali biomase testnih rastlin.

Alelokemikalije so prisotne v večini rastlinskih tkiv in se iz rastlin sproščajo na različne načine: lahko iz njih izparevajo, se izločajo skozi korenine, se spirajo v tla s padavinami ali pa se sproščajo v tla z razgradnjo odmrlih rastlinskih delov. Alelopatske interakcije vplivajo na številne fiziološke in ekološke procese: od pojavljanja, produktivnosti in rasti rastlin do dominantnosti, raznolikosti, sukcesije ter strukture rastlinskih združb. Ena najbolj poznanih alelopatskih vrst rastlin je črni oreh (*Juglans nigra*), pod katerim netopna snov juglon ostaja v prsti in se kopiči ter zelo zaviralno deluje na rast in razvoj mnogih vrst rastlin. Posledice izpostavljenosti alelopatskim snovem ali drugim stresnim dejavnikom so si lahko precej podobne (Tesio in Ferrero, 2010).

## 6.4 Možnost uporabe

Uporaba alelopatskih posevkov v kmetijstvu bi lahko zmanjšala uporabo fitofarmaceutskih sredstev in tako zmanjšala onesnaženje, stroške pridelave, izboljšala varnost hrane v revnih deželah, biotično raznolikost, produktivnost tal in vzdržnost kmetijstva. Pri uporabi pokrovnih in mešanih posevkov ter podora bi lahko alelopatija imela zelo velik pomen (Kalinova, 2010). Ostanke posevkov bi nato bilo možno uporabiti kot mulč. Možnost predstavlja tudi uporaba alelokemikalij kot herbicidov, ki bi lahko omilili težave, ki se pojavljajo z uporabo sintetičnih herbicidov (Belz, 2007). Alelopatsko potencialnost v terenskih pogojih je mogoče na različne načine izkoristiti za zatiranje plevelov, kot so površinske zastirke, vključitev v tla, vodne ekstrakte, kombinirana uporaba z nižjimi odmerki herbicidov ali mešanje obrezovanja in sekanja. V takih vodnih ekstraktih je voda nosilec in medij za izražanje alelopatske aktivnosti. Čeprav številne študije poleg vode uporabljajo organska topila za ekstrakcijo alelokemičnih snovi, uporaba vodnih alelopatskih rastlinskih izvlečkov ponuja izvedljivo in praktično zmožnost za trajnostno zatiranje plevela (Cheema idr., 2013). Dejstvo, da gre za naravne produkte, še ne pomeni, da so te spojine varnejše s toksikološkega stališča. Poleg tega je lahko izolacija in ekstrakcija alelokemikalij draga, zapletena in dolgotrajna, učinek pa prešibek, kratkotrajen. Projektna skupina FateAllChem je priporočala enako strogo presojo morebitnih tveganj v zvezi s široko uporabo z alelopatskimi posevki kot s konvencionalnimi herbicidi (Belz, 2007). Raziskovanje alelopatije je lahko tudi dobra iztočnica pri iskanju novih herbicidov (Rac, 2013).

### 6.4.1 ZATIRANJE PLEVELA S POMOČJO ALELOPATIJE

Plevel je agresiven, težaven, konkurenčen in nezaželen element pridelovalnih površin, ki predstavlja veliko težav v vseh sistemih gojenja. Med najpomembnejše vplive plevelov na kulturne rastline štejemo zmanjšanje pridelka zaradi konkurence rastlin, alelopatije ali obeh. Sodobno kmetijstvo za spopadanje s plevelom uporablja pretežno sintetične herbicide. Intenzivna uporaba herbicidov v zadnjih nekaj desetletjih za zatiranje plevela predstavlja resne ekološke in okolijske nevarnosti za okolje in prebivalce. V zadnjih treh desetletjih so se osredotočali na rastlinske materiale, ki kot okolju prijazen pristop lahko nadomestijo herbicide za zatiranje plevela. Za zatiranje plevela so uporabili alelopatske ekstrakte, ki so se izkazali za pomembno tehniko zatiranja plevela na obdelovalnih površinah. Večina sekundarnih spojin, ki imajo alelopatske značilnosti, je topnih v vodi in se po ekstrakciji v vodi lahko uporabljajo kot herbicidi. Vodni alelopatski ekstrakti so v številnih študijah pokazali obetavne rezultate (Cheema idr., 2013).



#### 6.4.2 UPRAVLJANJE Z INVAZIVNIMI RASTLINAMI S POMOČJO ALELOPATIJE

V zadnjih desetletjih se povečuje priljubljenost sonaravnih načinov kmetovanja in gospodarjenja z okoljem, posledično se pojavlja tudi težnja po zmanjšani rabi ali celo opustitvi sintetičnih pesticidov. Ker širjenje invazivnih rastlinskih vrst povzroča manjšanje biodiverzitete in gospodarsko škodo, jih je kljub vsemu potrebno zatirati. Zato v zadnjih letih za to iščejo alternativne načine, ki bi imeli manjši vpliv na okolje. K iskanju teh alternativnih načinov je močno pripomogla ugotovitev, da nekatere rastline negativno vplivajo na rast drugih rastlin (alelopatija). Alelopatske učinke sekundarnih metabolitov so med drugim zaznali tudi pri navadni (*F. esculentum*) in tatarski (*F. tataricum*) ajdi, zato sta ti dve vrsti potencialna kandidata za uporabo kot naravni herbicid (Küzmič, 2015).

V raziskavi alelopatskih učinkov omenjenih vrst ajde na kanadsko hudoletnico (*Conyza canadensis*), enoletno suholetnico (*Erigeron annuus*), kanadsko zlato rozgo (*Solidago canadensis*) in orjaško zlato rozgo (*Solidago gigantea*) so dokazali, da obe vrsti ajde poleg tega, da zavirata kalitev in zgodnji razvoj klic, najbolj zaviralno vplivata na dolžino korenin omejenih rastlinskih vrst. Na podlagi teh izsledkov je mogoče sklepati, da bi lahko obe vrsti ajde pripomogli k naravnemu načinu zatiranja izbranih invazivnih rastlinskih vrst (Küzmič, 2015).

Alelopatija je prav tako eden izmed najbolj pomembnih mehanizmov, ki povečajo uspešnost določene tujerodne invazivne vrste. Zviranje kalitve in zgodnjega razvoja kalic lahko predstavlja močno orodje nadzora populacij invazivnih tujerodnih rastlin, predvsem tistih vrst, ki se razširjajo izključno (ali v večji meri) s semeni (Küzmič, 2015).

#### 6.5 Potencialne alelopatske značilnosti rodu *Piper*

Rastline iz družine poprovk (Piperaceae) imajo veliko različnih biološki aktivnosti in izkazalo se je, da je to ena najbolj obetavnih družin za iskanje ekstraktov spojin, ki se uporabljajo pri kontroli rastlin (Celis idr., 2008). V različnih raziskavah so ugotovili, da imajo sekundarni metaboliti, kot so fenolne spojine in amidni derivati, ki jih najdemo v rastlinah iz rodu *Piper*, alelopatski vpliv na kalitev semen in rast rastlin (Kato-Noguchi in Tanaka, 2003).

Izвлеčki plodov ali listov vrst *Piper* delujejo zaviralno na kalitev semen in rast plevela (Suwitchayanon idr., 2019). Alelopatski učinek zdravilne rastline *Piper sarmentosum* so ocenili na 12 testnih rastlinskih vrstah. Pukclai in Kato-Noguchi (2011) sta v študiji uporabila štiri različne koncentracije, in sicer 0,01, 0,03, 0,1 in 0,3 posušenega ekstrakta listov *Piper sarmentosum*. Izmerila sta dolžino hipokotila in dolžino korenin in vrednosti primerjala z vrednostmi kontrolnih rastlin. Ugotovila sta, da vodni in metanolni ekstrakti rastlin *Piper sarmentosum* zavirajo vse preizkušane rastlinske vrste z različnimi zaviralnimi

vrednostmi. Razlike so lahko delno posledica različnih preskusnih rastlinskih vrst z različno občutljivostjo na alelokemikalije. Rast poganjkov in korenin testnih rastlin sta zavrla s koncentracijo višjo od 0,03 in ugotovila, da povečanje koncentracije ekstrakta poveča zaviralni učinek. Rezultati kažejo, da lahko *P. sarmentosum* vsebuje snovi, ki zavirajo rast in deluje alelopatsko. Rastlina *P. sarmentosum* je lahko primerna za izolacijo in identifikacijo alelokemikalij (Pukclai in Kato-Noguchi, 2011).

Z bioaktivno vodeno izolacijo aktivnih sestavin plodov *Piper sarmentosum* in *Piper nigrum* je bila odkrita herbicidna aktivnost sarmentina, kar je vodilo do povečanega zanimanja za sarmentin kot potencialni biopesticid (Huang idr., 2010). Sarmentin ima številne zanimive biološke lastnosti, vključno s širokim spektrom delovanja na plevele kot kontaktni herbicid. Delovanje sarmentina spodbudi tudi svetlobno sevanje, zato delovanje sarmentina moti fotosintetske procese, saj zavira delovanje fotosistema II (Dayan idr., 2015).

Van in drugi so 2019 dokazali, da sta spojini 5,6-dehidrokavain (DK) in dihidro-5,6-dehidrokavain (DDK), izolirana iz korenine *Piper methysticum*, zavirala rast redkvice (*Raphanus sativus*). Čisti DK je zaviral rast poganjkov in korenin, medtem ko je mešanica DDK in njihovi derivati zavirala rast korenin. Te ugotovitve kažejo, da bi lahko bila DK in DDK iz *P. methysticum* obetaven vir naravnih zaviralcev rasti rastlin (Xuan idr., 2019).

#### 6.5.1 ALELOPATSKE ZNAČILNOSTI ČRNEGA POPROVCA

Sekundarni metaboliti črnega poprovca, ki se pojavljajo predvsem v listih in plodovih, negativno vplivajo na rast rastlin. Vzrok za to je, da se sekundarni metaboliti tekom dekompozicije rastlinskega materiala in z izločanjem iz živih rastlinskih tkiv sproščajo v okolje. Kljub vsemu pa alelopatsko delovanje črnega poprovca še ni dobro raziskano (Siddiqui, 2007).

Izmed sekundarnih metabolitov, ki so prisotni v plodovih črnega poprovca, ima največ potenciala za alelopatsko delovanje alkaloid piperin. Piperin, ki deluje kot alelokemikalija, v plodovih črnega poprovca predstavlja 1,7–7,4 % vsebnosti (Verma idr., 2011).

Predvidevajo, da spojine, ki so prisotne v črnem poprovcu, kot je piperetin in počasneje delujoči lignani, delujejo kot alelokemikalije, ki lahko delno blokirajo biosintezo ali spodbujajo razgradnjo klorofila. Slednje vodi v zmanjšanje akumulacije klorofila, zaradi tega poteka proces fotosinteze v manjši meri, posledično pa se zmanjša rast rastlin, na katere delujejo omenjene alelokemikalije (Siddiqui, 2007).

Siddiqui idr. (2007) so preučevali alelopatski učinek treh koncentracij izvlečka rastline črnega popra (*Piper nigrum*) na kalitev, rast sadik in vsebnost klorofila pri fižolu (*Vigna mungo*). Ugotovili so, da sta 50 in 75 % raztopini negativno vplivali na kalitev semen, rast

korenin in poganjkov ter rast sadik fižola. Največja inhibicija kalitve (58,1 %) je bila zabeležena pri uporabi 75 % raztopine. Še posebej je na rast poganjkov v primerjavi z rastjo korenin vplivala uporabljena višja koncentracija. Prav tako se je z višino koncentracije zmanjšala rast korenin, kar je posledično vplivalo na slabšo rast rastlin (Siddiqui, 2007).

V podobni raziskavi so Tavares idr. (2011) iz posušenih plodov črnega poprovca izolirali piperin in ocenili njegovo inhibitorno delovanje na kalitev čebule (*Allium cepa*), mrkača (*Bidens pilosa*), pravega žafrana (*Crocus sativus*) in solate (*Lactuca sativa*). Inhibicija kalitve dvokaličnic (*B. pilosa*, *C. sativus* in *L. sativa*) ob dodatku 5,0 mg/kg piperina je znašala 12,8 %, medtem ko je ob dodatku 0,5 mg/kg piperina inhibicija kaljivosti pri vrsti *B. pilosa* znašala le 4,8 %, pri vrsti *L. sativa* 12,8 % in pri pravem žafranu 8,3 %. Pri čebuli, ki je enokaličnica, pa se je kaljivost ob dodatku obeh koncentracij piperina povečala, in sicer pri koncentraciji 5,0 mg/kg za 30,4 % in pri koncentraciji 0,5 mg/kg za 13 % v primerjavi s kontrolo. Tavares idr. (2011) so v omenjeni raziskavi prav tako ugotovili, da se je dolžina sadik pri vseh opazovanih dvokaličnicah s povečanjem koncentracije piperina zmanjšala, kar kaže na to, da piperin v nizkih koncentracijah vpliva tudi na rast omenjenih rastlin (Tavares idr., 2011).

Ugotovili so tudi, da lahko vodni ekstrakti črnega poprovca pri visokih koncentracijah inhibirajo rast in kalitev koruze (*Zea mays*), soje (*Glycine max*), muškatne buče (*Cucurbita moschata*), navadne kostrebe (*Echinochloa crus-galli*) in krvavordeče srakonje (*Digitaria sanguinalis*), medtem ko pri nizkih koncentracijah rast in kalitev stimulirajo. Na podlagi različnih načinov pridobivanja ekstraktov so ugotovili, da črni poprovec vsebuje alelokemikalije z veliko polarnostjo (Yan idr., 2006).

Tekom preučevanja biološkega zatiranja plevelov in priprave novih herbicidov so prišli do spoznanja, da vodni ekstrakti iz listov črnega poprovca zaradi vsebnosti sekundarnih metabolitov alelopatsko vplivajo na kalivost semen in rast sadik redkvice (*Raphanus sativus* L., *Stylosanthes guianensis* in *Amaranthus spinosus*). V raziskavi se je zaviralni učinek črnega poprovca povečal s povečanjem koncentracije vodnega izvlečka, največji učinek na kalitev je namreč imela koncentracija 0,05 g/ml. Ugotovili so tudi, da se je pri manjših koncentracijah ekstrakta povečala aktivnost encimov superoksid dismutaz, katalaz in peroksidaz v redkvici, ki delujejo kot stresni encimi pri antioksidativni obrambi rastlin, vendar se je njihova aktivnost zmanjšala ob povečanju koncentracije izvlečka (Sheng-Li, 2021).

## 7 SKLEPI

Črni poprovec (*Piper nigrum* L.) je večletna lesnata ovijalka, ki v socvetjih razvije od 50 do 60 plodov – jagod. Glede na različne načine obdelave plodov ločimo črni, zeleni in beli poper. Plodovi vsebujejo številne vitamine, minerale, elektrolite, prehranske vlaknine in različne sekundarne metabolite. Med sekundarne metabolite štejemo fenolne spojine, terpenoide in alkaloide. Med alkaloidi je v plodovih črnega poprovca najbolj zastopan piperin, ki daje popru značilen oster vonj in okus. Največ piperina vsebujeta beli in črni poper (3–8 %), najmanj pa ga vsebuje zeleni poper. Piperin je alkaloid, ki ga glede na kemijsko zgradbo uvrščamo v alkaloidno skupino piperidinov. Za piperin so značilne raznolike biološke aktivnosti. Deluje protivnetno, protirakavo, antivirusno, pesticidno, antimikrobno, antidepresivno, antialergijsko ipd. Največ potenciala na različne biološke dejavnosti imajo alkaloidi iz skupine sekundarnih metabolitov črnega popra, in sicer piperin, pipen, piperamin in piperamidi.

Raziskave kažejo negativne učinke piperina na rast in kalitev nekaterih rastlinskih vrst, potencialno tudi na različne invazivne rastlinske vrste. Invazivne tujerodne vrste povzročajo težave domorodnim vrstam, saj jih izpodrivajo, uničujejo njihove naravne habitate in prenašajo zajedavce ter bolezni, proti katerim domorodne vrste niso odporne ali prilagojene. Invazivne tujerodne vrste lahko negativno vplivajo tudi na ljudi in povzročajo različne zdravstvene težave. Zaradi invazivnih rastlin nastaja tudi gospodarska škoda, saj namnožitev posamezne invazivne vrste vpliva na zmanjšan pridelek, zaraščanje in izginjanje izkoriščanih vrst, hkrati pa povzroča pogostejšo košnjo in čiščenje. Posredno nastajajo zmanjšane količine in kakovosti pridelka, ravno tako pa nastajajo tudi veliki stroški za preprečevanje razširitve in odstranjevanje invazivnih vrst.

Invazivne rastlinske vrste imajo sposobnost hitrega širjenja in negativno vplivajo na biodiverzitetu, zato jih je potrebno zatirati, pri čemer velikokrat uporabljajo sintetične herbicide. Ti so sicer učinkoviti, vendar škodljivi za okolje. Pri aplikaciji ti prehajajo v pitno vodo in prst, s tem pa tudi v našo hrano. Nadzor uporabe sintetičnih herbicidov ponekod ni strogo nadzorovan, zato je škoda lahko še večja, poleg tega pa je k uporabi večjih koncentracij sintetičnih herbicidov pripomogla tudi rezistenca rastlin nanje, ki se je razvila tekom večletne uporabe. Slednje močno negativno vpliva na zdravje ljudi, saj lahko pri uporabi višjih koncentracij herbicidov pride do pojava kancerogenosti in drugih dolgoročnih zdravstvenih težav.

Ker imajo sintetični herbicidi negativen učinek na okolje in ljudi, je vse bolj zaželena uporaba naravnih pripravkov, ki so lahko prav tako uspešni pri kontroli rastlinskih vrst. V zadnjem času se pojavlja vse večja težnja po uporabi naravnih alternativ za kontrolo rastlin. Potencialna alternativa bi lahko bili tudi pripravki iz plodov črnega poprovca, kar smo ugotovili s pregledom različnih raziskav. V različnih raziskavah so ugotovili, da lahko

ekstrakti alkaloidov iz črnega poprovca delno blokirajo biosintezo ali spodbujajo razgradnjo klorofila, zaradi česar negativno vplivajo na kalitev in rast različnih rastlinskih vrst. Iz tega lahko sklepamo, da bi enak učinek dosegli tudi pri kontroli invazivnih rastlinskih vrst, ki v Sloveniji in drugod po svetu predstavljajo veliko težavo. Z uporabo alternativnih pripravkov iz črnega poprovca bi lahko nekoliko omejili okolijske težave, ki so posledica uporabe sintetičnih herbicidov, poleg tega pa bi izboljšali splošno zdravje ljudi in zmanjšali stroške, ki nastajajo zaradi gospodarske škode, ki jih povzročajo invazivne rastline. Težave, ki so posledica uporabe sintetičnih herbicidov za zatiranje tujerodnih invazivnih rastlinskih vrst, bi lahko potencialno rešili z raziskavami fitotoksičnega delovanja alkaloidov iz plodov črnega poprovca.

## 8 PREDLOGI NADALJNJEGA LABORATORIJSKEGA DELA

Da bi ugotovili oziroma potrdili učinkovitost posameznih ekstraktov plodov črnega poprovca pri kontroli izbranih invazivnih rastlinskih vrst, bi bilo potrebno na to temo opraviti dodatne raziskave v laboratoriju. V nadaljevanju je na kratko povzeto nadaljnje laboratorijsko delo, s katerim bi lahko preverili zastavljene hipoteze.

V laboratoriju bi najprej pripravili rastlinski material za delo, in sicer črni, zeleni in beli poper ter nekaj izbranih invazivnih rastlinskih vrst (japonski dresnik, kanadsko in orjaško zlato rozgo ter kalinolistni pokalec). Pred samim poskusom bi bilo potrebno preveriti, da rastlinski material ni okužen, saj to lahko vpliva na raziskavo. Suhe plodove bi v mlinčku zmleli v prah. Nato bi zmleli suhe plodove vseh treh vrst popra, iz katerih bi z različnimi tehnikami izolirali alkaloidne in piperin. Za ekstrakcijo piperidinskih alkaloidov bi uporabile povratno destilacijo, izhlapevanje/izparevanje, uparevanje tekočin v vakuumu z rotavaporjem in kristalizacijo. Zatem bi uporabili TLC kromatografijo za detekcijo alkaloidov v vzorcu.

Sledila bi priprava rastlinskih izvlečkov z različnimi topili (vodni, metanolni ekstrakt ipd.) in koncentracijami piperidinskih alkaloidov, da bi ugotovile najboljšo stopnjo ekstrakcije alkaloidov iz različnih poprov. Če so v izoliranem rastlinskem vzorcu res prisotni alkaloidi (piperin), bi preverili s štirimi različnimi dokaznimi obarjalnimi reakcijami, in sicer Dragendorffov, Mayerjev, Wagnerjev in Hagerjev test. Pri posameznem testu bi specifičen reagent, ki je kislina raztopljena, reagiral z alkaloidom, ki reagira bazično, in posledično bi nastala obarvana oborina. Vrsto alkaloida bi lahko dokazali preko obarvanosti oborine, saj so odtenki barve oborine odvisni od vrste alkaloida, ki ga dokazujemo.

Potem bi pripravili petrijevke s semeni izbranih invazivnih rastlinskih vrst. Na petrijevke s semeni bi aplicirali pripravljene raztopine različnih koncentracij in spremljali stopnjo kalitve rastlin ter stresne metabolite v kalicah. Pripravili bi tudi kontrolne vzorce za vsako rastlinsko vrsto, katerim ne bi dodali rastlinskih izvlečkov ali ekstrahiranih alkaloidov. Pri vseh vzorcih bi opravili oceno kalivosti, iz katere bi lahko ocenili inhibicijo, meritve dolžine poganjkov in korenin kalic ter meritve vsebnosti stresnih metabolitov v kalicah (npr. fenolne spojine), s katerimi bi preverili, ali so bile kalice izpostavljene stresu. Ocenili bi tudi stopnjo lipidne peroksidacije preko spektrofotometrično določitve malondialdehida v kalicah.

Po končanem eksperimentalnem delu bi nam rezultati podali informacijo o vplivu različnih rastlinskih ekstraktov različnih koncentracij na kalitev in rast izbranih rastlinskih vrst. Najprej bi primerjali rezultate učinkovitosti ekstraktov iz različnih poprov (črni, zeleni in beli) pri enakih koncentracijah in tako določili najbolj primerno kombinacijo za zatiranje in kontrolo kalitve izbranih rastlinskih vrst. Poskus bi obravnavali v več ponovitvah, da bi dobili zanesljivejše rezultate. Iz pridobljenih rezultatov raziskave v laboratoriju bi lahko prav

tako ugotovili najučinkovitejšo kombinacijo posameznega popra in vrsto ekstrakta ter koncentracijo, ki bi ga lahko uporabili nadalje v praksi pri kontroli širjenja tujerodnih invazivnih rastlinskih vrst.

V nadaljnjih raziskavah bi bilo smiselno preučiti tudi alelopatske učinke pripravkov iz črnega poprovca na rastline, ki rastejo v okolici invazivnih tujerodnih rastlin, saj bi lahko z ugotovitvami takšnih raziskav preprečili, da bi z uporabo naravnih pripravkov za zatiranje tujerodnih rastlinskih vrst negativno vplivali na domorodne rastline, ki jih ne želimo zatirati. Na ta način bi preprečili manjšanje domorodne biotske pestrosti, ki bi ga lahko povzročili. Poleg tega bi bilo smiselno preučiti tudi mehanizme razvoja odpornosti invazivnih rastlinskih vrst na alelopatske pripravke iz plodov črnega poprovca in preprečiti razvoj odpornosti.

Z uporabo pripravkov iz črnega popra bi lahko rešili tudi težave, ki se pojavljajo zaradi pogostosti invazivnih tujerodnih rastlin, kjer je uporaba sintetičnih herbicidov omejena. Pripravki iz plodov črnega poprovca so naravni in imajo bistveno manjši vpliv na okolje kakor sintetični herbicidi. Poleg tega pa nimajo negativnega vpliva na zdravje ljudi, saj alkaloid piperin, sicer v nekoliko manjših koncentracijah, vsakodnevno uživamo v pripravljeni hrani.

Ta teoretična naloga je osnova za nadaljnje eksperimentalno delo v laboratoriju. Če bi se rezultati raziskave ujemali z našimi pričakovanji, bi lahko izsledke laboratorijskih raziskav prenesli tudi v naravno okolje, kjer tujerodne invazivne rastlinske vrste zmanjšujejo domorodno biotsko raznovrstnost in povzročajo gospodarsko škodo.

## 9 LITERATURA

- AHMAD, N., FAZAL, H., ABBASI, B. H., FAROOQ, S., ALI, M., KHAN, M. A.: *Biological role of Piper nigrum L. (Black pepper): A review*. V *Asian Pacific journal of Tropical Biomedicine*, 2 (2015), 3, str. 1945–1953.
- AHMAD, N., FAZAL, H., ABBASI, B. H., RASHID, M., MAHMOOD, T., FATIMA, N.: *Efficient regeneration and antioxidant potential in regenerated tissues of Piper nigrum L.* V *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 102 (2010), 1, str. 129–134.
- ARSLAN, Ü., ILHAN, K., KARABULUT, Ö. A.: *Antifungal activity of aqueous extracts of spices against bean rust (Uromyces appendiculatus)*. V *Allelopathy Journal*, 24 (2009), 1, str. 207–214.
- BARTOMEUS, I., VILÀ, M., STEFFAN-DEWENTER, I.: *Combined effects of Impatiens glandulifera invasion and landscape structure on native plant pollination*. V *Journal of Ecology*, 98 (2010), 2, str. 440–450.
- BATIČ, F.: *Strupene rastline v bivalnem okolju*. Spletna stran (Univerza v Ljubljani Biotehniška fakulteta). Dostopno na naslovu: [http://www.bf.uni-lj.si/fileadmin/groups/2711/Gradiva\\_Batic\\_Predavanja\\_Bolonja/Batic\\_P\\_Bolonja\\_VE\\_T-Strupene\\_rastline.pdf](http://www.bf.uni-lj.si/fileadmin/groups/2711/Gradiva_Batic_Predavanja_Bolonja/Batic_P_Bolonja_VE_T-Strupene_rastline.pdf) (27. 10. 2020).
- BELZ, R. G.: *Allelopathy in crop/weed interactions – an update*. V *Pest Management Science*, (2007), 63, str. 308–326.
- BIBIČ, B.: *Tujerodne vrste na slovenskem*. Seminarska naloga. Planinska zveza Slovenije, Komisija za varstvo gorske narave, Maribor (2016), str. 3–16.
- BLUM, U.: *Allelopathy: a soil system perspective*. V: *Allelopathy: A Physiological Process with Ecological Implications*. REIGOSA, M. J., PEDROL, N., GONZÁLEZ, L. (ur.). Španija: Springer, 2006, str. 299–340. ISBN: 978-1-4020-4279-9.
- BRITANNICA. 2020. Encyclopaedia Britannica.  
Dostopno na naslovu: <https://www.britannica.com/science/alkaloid> (27. 10. 2020).
- CALLAWAY, R. M., ASCHEHOUG, E. T.: *Invasive plants versus their new and old neighbors: a mechanism for exotic invasion*. V *Science*, 290 (2000), str. 521–523.
- CELIS, Á., MENDOZA, C., PACHÓN, M., CARDONA, J., DELGADO, W., CUCA, L. E.: *Extractos vegetales utilizados como biocontroladores con énfasis en la familia Piperaceae. Una revisión*. V *Agronomía Colombiana*, 26 (2008), 1, str. 97–106.
- CHARLES, D. J.: *Antioxidant Properties of Spices, Herbs and Other Sources*. New York: Springer, 2013, str. 459–467. ISBN: 978-1-4614-4309-4.



- CHAUDHRY, N. M. A., TARIQ, P.: *Bactericidal activity of black pepper, bay leaf, aniseed and coriander against oral isolates*. V *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences*, 19 (2003), 3, str. 214–218.
- CHEEMA, Z. A., FAROOQ, M., KHALIQ, A.: *Application of allelopathy in crop production: Success story from Pakistan*. V: *Allelopathy: Current Trends and Future Applications*. CHEEMA, Z., FAROOQ, M., WAHID, A. (ur.). Berlin: Springer, 2013, 113–144 str. ISBN: 978-3-642-30594-8.
- CHENG, H. H.: *A conceptual framework for assessing allelochemicals in the soil environment*. V: *Allelopathy: Basic and applied aspects*. RIZVI, S. J. H., RIZVI, V. (ur.). Springer, Dordrecht, 1992, str. 21–29. ISBN: 978-94-011-2376-1.
- CHOPRA, B., DHINGRA, A. K., KAPOOR, R. P., PRASAD, D. N.: *Piperine and Its Various Physicochemical and Biological Aspects: A Review*. V *Open Chemistry Journal*, 3 (2016), 1, str. 75–96.
- CODEX ALIMENTARIUS.: *International Food Standards*. V *Standard for Foods for Special Dietary Use for Persons Intolerant to Gluten CODEX STAN*, (2017), str.118–197.
- DAMANHOURI, Z. A., AHMAD, A.: *A Review on Therapeutic Potential of Piper nigrum L. (Black Pepper): The King of Spices*. V *Medical & Aromatic Plants*, 3 (2014), 3, str. 161.
- DAYAN, F. E., OWENS, D. K., WATSON, S. B., ASOLKAR, R. N., BODDY, L. G.: *Sarmentine, a natural herbicide from Piper species with multiple herbicide mechanisms of action*. V *Frontiers in plant science*, 6 (2015), str. 222.
- DEL MORAL, R., MULLER, C. H.: *Fog drip: A mechanism of toxin transport from Eucalyptus globulus*. V *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 96 (1969), 4, str. 467–475.
- DUKE, S. O.: *Allelopathy: Current status of research and future of the discipline: A Commentary*. V *Allelopathy Journal*, 25 (2010), 1, str. 17–20.
- EINHELLIG, F. A.: *Mode of allelochemical action of phenolic compounds*. V *Allelopathy: Chemistry and mode of action of allelochemicals*. MACIAS, A. F., GALINDO, J. C. G., MOLINILLO J. M. G. (ur.). Boca Raton: CRC Press, ZDA, 2004, str. 217–238. ISBN: 0-8493-1964-1.
- ELER, K.: *Invazivne rastline in kmetijstvo*. Ljubljana: Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano, 2018, str. 24–26. ISBN: 978-961-6761-57-4.

FAO. 2020. Food and Agriculture Organization.

Dostopno na naslovu: <http://www.fao.org> (19. 12. 2020).

FAROOQ, M., JABRAN, K., CHEEMA, Z. A., WAHID, A., SIDDIQUE, K. H.: *The role of allelopathy in agricultural pest management*. V *Pest Management Science*, 67, (2011), 5, str. 493–506.

FENG, Y., DUNSHEA, F. R., SULERIA, H. A.: *LC-ESI-QTOF/MS characterization of bioactive compounds from black spices and their potential antioxidant activities*. V *Journal of Food Science and Technology*, 57 (2020), 12, str. 4676–4687.

FERGUSON, J. J., RATHINASABAPATHI, B., CHASE, C. A.: *Allelopathy: How Plants Suppress Other Plants*. Spletna stran (EDIS), 2003.  
Dostopno na naslovu <https://edis.ifas.ufl.edu/hs186>: (25. 3. 2021).

FRAJMAN, B.: *Japonski dresnik Fallopija japonica, Informativni list 1*. Spletna stran (Projekt Thuja), 2008.

Dostopno na naslovu: <https://www.tujerodne-vrste.info/wp-content/uploads/2018/05/INF1-japonski-dresnik.pdf> (17. 11. 2020).

GORGANI, L., MOHAMMADI, M., NAJAFPOUR, G. D., NIKZAD, M.: *Piperine—The Bioactive Compound of Black Pepper: From Isolation to Medicinal Formulations*. V *Comprehensive reviews in Food Science and Food Safety*, 16 (2017), 1, str. 124–140.

GROŠELJ, U., KRANJC, K., POŽGAN, F.: *Biološko pomembne spojine, univerzitetni učbenik*. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, 2019 (1. izdaja). ISBN: 978-961-6756-96-9.

HAIG, T.: *Allelochemicals in Plants. V: Allelopathy in sustainable agriculture and forestry*. ZENG, R. S., MALLIK, A. U., LUO, S. M. (ur.). USA: Springer, 2008, str. 63–104. ISBN: 978-0-387-77336-0.

HAMMOUTI, B., DAHMANI, M., YAHYI, A., ETTOUHAMI, A., MESSALI, M., ASHERAU, A., BOUYANZER, A., WARAD, I., TOUZANI, R.: *Black Pepper, the “King of Spices”: Chemical composition to applications*. V *Arabian Journal of Chemical and Environmental Research*, 6 (2019), 1, str. 12–56.

HIERRO, J. L., MARON, J. L., CALLAWAY, R. M.: *A biogeographical approach to plant invasions: the importance of studying exotics in their introduced and native range*. V *Journal of Ecology*, 93 (2005), 1, str. 5–15.

HUANG, H., MORGAN, C. M., ASOLKAR, R. N., KOIVUNEN, M. E., MARRONE, P. G.: *Phytotoxicity of Sarmentine Isolated from Long Pepper (*Piper longum*) Fruit*. V *Journal of agricultural and food chemistry*, 58 (2010), 18, str. 9994–10000.

INDERJIT, NILSEN, E. T.: *Bioassays and field studies for allelopathy in terrestrial plants: progress and problems*. V *Critical Reviews in Plant Science*, 22 (2003), 3, str. 221–238.

ITIS. 2020. Integrirani taksonomski informacijski sistem.

Dostopno na naslovu: <https://plants.usda.gov/core/profile?symbol=PHOP> (19. 11. 2020).

IVANUŠA, P., KUJLOVIČ, A., LOVŠIN, Ž., PRENDL, P., ŠALAMON, I.: *Primerjava alelokemičnih učinkov ekstraktov listov predstavnikov Fallopija na kalitev in rast rastlin*. V *Collectanea studentum physiologie plantarum*, 8 (2017), 1, str. 18–21.

JOGAN, N., BAČIČ, M., STRGULC KRAJŠEK, S.: *Tujerodne in invazivne rastline v Sloveniji*. Končno poročilo projekta Nebiota Slovenije. Oddelek za biologijo, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, Ljubljana. (2012), str. 161–182.

JOGAN, N., ELER, K., NOVAK, Š.: *Priročnik za sistematično kartiranje invazivnih tujerodnih rastlinskih vrst*. Nova vas: Zavod Symbiosis, 2012, str. 45–46. ISBN: 978-961-91109-9-7.

KALINOVA, J.: *Allelopathy and organic farming*. V: *Sociology, organic farming, climate change and soil science*. LICHTFOUSE, E. (ur.). Dordrecht: Springer, 2010 (3. Izdaja), str. 379–418. ISBN: 978-90-481-3332-1.

KATO-NOGUCHI, H., TANAKA, Y.: *Effects of capsaicin on plant growth*. V *Biologia Plantarum*, 47 (2003), 1, str. 157–159.

KHANH, T. D., CHUNG, M. I., XUAN, T. D., TAWATA, S.: *The exploitation of crop allelopathy in sustainable agricultural production*. V *Journal of agronomy and crop science*, 191 (2005), 3, str. 172–184.

KRISTANC, L.: *Alkaloidi*. Spletna stran (Divji vrt).

Dostopno na naslovu: <https://www.divjivrt.si/rastline/index.php/zdravilne-rastline-in-kozmetika/112-rastlinske-ucinkovine/115-alkaloidi> (27. 10. 2020).

KUMAR, S., SINGHAL, V., ROSHAN, R., SHARMA, A., REMBHOTKAR, G. W., GHOSH, B.: *Piperine inhibits TNF- $\alpha$  induced adhesion of neutrophils to endothelial monolayer through suppression of NF- $\kappa$ B and I $\kappa$ B kinase activation*. V *European Journal of Pharmacology*, 575 (2007), 1–3, str. 177–186.

KUS VEENVLIET, J., HUMAR, M.: *Tujerodne vrste na zavarovanih območjih*. Poročilo o aktivnosti za krepitev zmogljivosti v sklopu projekta WWF Zavarovana območja v dinarski regiji. (2011). str.73

KUS VEENVLIET, J., VEENVLIET, P., DE GROOT, M., KUTNAR, L.: *Terenski priročnik za prepoznavanje tujerodnih vrst v gozdovih*. Druga, dopolnjena izdaja. Ljubljana: Silva Slovenica, 2019, str. 14–58. ISBN 978-961-6993-47-0.

KUS VEENVLIET, J., VEENVLIET, P.: *Ozaveščanje*. Spletna stran (Projekt LIFE ARTEMIS). Dostopno na naslovu: <https://www.tujerodne-vrste.info/ukrepi/ozavescanje/> (19. 11. 2020).

KUS VEENVLIET, J., VEENVLIET, P.: *Zatiranje tujerodnih vrst*. Spletna stran (Projekt LIFE ARTEMIS). Dostopno na naslovu: <https://www.tujerodne-vrste.info/ukrepi/zatiranje-tujerodnih-vrst/> (19. 11. 2020).

KUS VEENVLIET, J.: *Opazovalni seznam tujerodnih vrst*. Spletna stran (Projekt LIFE ARTEMIS). Dostopno na naslovu: <https://www.tujerodne-vrste.info/tujerodne-vrste/opazovalni-seznam/> (19. 11. 2020).

KUS VEENVLIET, J.: *Splošno o tujerodnih vrstah*. Spletna stran (Projekt LIFE ARTEMIS). Dostopno na naslovu: <https://www.tujerodne-vrste.info/tujerodne-vrste/> (19. 11. 2020).

KUS VEENVLIET, J.: *Tujerodne vrste – stanje, vplivi in odzivi*. Nova vas: Zavod Symbiosis, 2013, 9–78 str. ISBN: 978-961-93543-0-8.

KÜZMIČ, F.: *Vpliv vodnega izvlečka ajde na kalitev izbranih invazivnih tujerodnih rastlin*. Magistrsko delo. Biotehniška fakulteta, študij ekologije in biodiverzitete, Ljubljana (2015). str. 45

LAU, J. A., PULIAFICO, K. P., KOPSHEVER, J. A., STELTZER, H., JARVIS, E. P., SCHWARZLÄNDER, M., STRAUSS, S. Y., HUFBAUER, R.: *Inference of allelopathy is complicated by effects of activated carbon on plant growth*. V *New Phytologist*, 178 (2008), 2, str. 412–423.

LEŠNIK, M.: *Obvladovanje pojava invazivnih rastlin (neofitov in ohranjanje biodiverzitete na vodovarstvenih območjih)*. Maribor: Univerzitetna založba Univerze v Mariboru, 2017, str 388., ISBN: 978-961-286-122-3 .

LI, S., WANG, C., LI, W., KOIKE, K., NIKAIDO, T., WANG, M. W.: *Antidepressant-like effects of Piperine and its derivative, antiepilepsirine*. V *Journal of Asian natural products research*, 9 (2007), 5, str. 421–430.

LIKAR, M., REGVAR, M.: *Praktikum fiziologije rastlin: za študente Biotehnologije*. Ljubljana: Študentska založba, 2003, str. 94

LOVETT, J., RYUNTYU, M.: *Allelopathy: broadening the context*. V: *Allelopathy: Basic and applied aspects*. RIZVI, S. J. H., RIZVI, V. (ur.). New York, 1992, str. 11–19. ISBN: 978-94-011-2376-1.

LUKANC, B. L.: *Tujerodne invazivne rastline v okolici Dragovega doma na Homu*. Seminarska naloga. Planinska zveza Slovenije, PD Zabukovica (2018). str. 4

- MALOVRH, J., KUS VEENVLIET, J.: *Opozorilni seznam tujerodnih vrst*. Spletna stran (Projekt LIFE ARTEMIS).  
Dostopno na naslovu: <https://www.tujerodne-vrste.info/tujerodne-vrste/opozorilni-seznam/> (19. 11. 2020).
- MEH PEER, P. I., PIRMANŠEK, I., MEH PEER, N.: *Invazivne tujerodne rastlinske vrste v okolici Škalskega jezera*. Konferenca VIVUS- s področja kmetijstva, naravovarstva, hortikulture in floristike ter živilstva in prehrane, Naklo (2016), str. 273–284.
- Morphine. National Library of Medicine. Spletna stran.  
Dostopno na naslovu: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Morphine> (8. 11. 2020).
- MORTON, J. F.: *Some ornamental plants excreting respiratory irritants*. V *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, 82 (1969), str 415–421.
- NARWAL, S. S.: *Allelopathy in ecological sustainable organic agriculture*. V *Allelopathy Journal*, 25 (2010), 1, str. 51–72.
- NELSON, S. C., CANNON-EGGER, K. T.: *Farm and Forestry Production and Marketing profile for Black pepper (Piper nigrum)*. Spletna stran (Specialty crop for Pacific Island agroforestry).  
Dostopno na naslovu: [https://www.doc-developpement-durable.org/file/Culture-epices/poivre/Black\\_pepper\\_specialty\\_crop.pdf](https://www.doc-developpement-durable.org/file/Culture-epices/poivre/Black_pepper_specialty_crop.pdf) (7. 11. 2020).
- Nicotine. National Library of Medicine. Spletna stran.  
Dostopno na naslovu: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Nicotine> (8. 11. 2020).
- NILSSON, M. C.: *Separation of allelopathy and resource competition by the boreal dwarf shrub Empetrum hermaphroditum Hagerup*. V *Oecologia*, 98 (1994), 1, str. 1–7.
- NIRALA, S. K., BHADAURIA, M., MATHUR, R., MATHUR, A.: *Influence of alpha-tocopherol, propolis and piperine on therapeutic potential of tiferron against beryllium induced toxic manifestations*. V *Journal of Applied Toxicology: An International Journal*, 28 (2008), 1, str. 44–54.
- OJIMA I., IULA D. M.: *New Approaches to the Syntheses of Piperidine, Izidine, and Quinazoline Alkaloids by Means of Transition Metal Catalyzed Carbonylations*. V: *Alkaloids: Chemical and Biological Perspectives*. PELLETIER, W. S. (ur.). New York, State University of New York at Stony Brook, 1999, str. 371–410. ISBN: 978-0-08-043403-2.
- OKWUTE, S. K., EGHAREVBA, H. O.: *Piperine-type amides: Review of the chemical and biological characteristics*. V *International Journal of Chemistry*, 5 (2013), 3, str. 99

- ONLINE PLANT CLINIC. 2020. Crop Pest Surveillance System Online Plant Clinic.  
Dostopno na naslovu:  
<http://www.cpsskerala.in/OPC/pages/pepperDiseaseFungalPollu.jsp> (20. 12. 2020).
- OZIMIČ, S.: *Vpliv tujerodne vrste orjaška zlata rozga (Solidago gigantea Aiton) na talno semensko banko ekstenzivnih travnikov*. Magistrsko delo. Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Maribor (2018). str. 67
- PATHAK, N., KHANDELWAL, S.: *Comparative efficacy of piperine, curcumin and picroliv against Cd immunotoxicity in mice*. V *BioMetals*, 21 (2008), 6, str. 649–661.
- PATHAK, N., KHANDELWAL, S.: *Role of oxidative stress and apoptosis in cadmium induced thymic atrophy and splenomegaly in mice*. V *Toxicology Letters*, 169 (2007), 2, str. 95–108.
- PELLETIER, S. W.: *Alkaloids: Chemical and Biological Perspectives*. New York: Springer-Verlag, 1992, str. 7 ISBN: 978-1-4612-2908-7.
- PIYACHATURAWAT, P., GLINSUKON, T., TOSKULKAO, C.: *Acute and subacute toxicity of piperine in mice, rats and hamsters*. V *Toxicology letters*, 16 (1983), 3–4, str. 351–359.
- PUKCLAI, P., KATO-NOGUCHI, H.: *Allelopathic Activity of Piper sarmentosum Roxb.* V *Asian Journal of Plant Sciences*, 10 (2011), 2, str. 147–152.
- RAC, I.: *Alelokemikalije in mehanizmi njihovega delovanja v kmetijstvu*. Diplomski projekt. Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Ljubljana (2013). str. 20
- RANDALL, J. M.: *How non-native species invade and degrade natural areas*. V: *Invasive Plants*. RANDALL, J. M., MARINELLI, J. (ur.). New York, Brooklyn Plants Botanic garden Publications, 1996, str. 7–12. ISBN: 0-945352-95-6.
- RAVINDRAN, P. N.: *Black pepper*. V: *Medicinal and Aromatic Plants - Industrial Profiles*. HARDMAN, R. (ur.). Nizozemska: Overseas Publishers Association, 2006, str. 86–115. ISBN: 90-5702-453-5.
- RAVINDRAN, P. N.: *Black pepper: Piper nigrum*. Amsterdam: CRC Press, 2000, 526 str. ISBN: 9789057024535.
- REIGOSA, M. J., SÁNCHEZ-MOREIRAS, A., GONZÁLEZ, L.: *Ecophysiological approach in allelopathy*. V *Critical reviews in plant sciences*, 18 (1999), 5, str. 577–608.
- REINHART, K. O., CALLAWAY, R. M.: *Soil biota and invasive plants*. V *New Phytologist*, 170 (2006), 3, str. 445–457.

- RIZVI, S. J. H., HAQUE, H., SINGH, V. K., RIZVI, V.: *A discipline called allelopathy*. Dordrecht: Springer, 1992, 10 str. ISBN: 978-94-010-5048-7.
- ROBERTS, M. F., WINK, M.: *Alkaloids: Biochemistry, Ecology, and Medicinal Applications*. New York: Plenum Press, 1998. 486 str. ISBN: 0-306-45465-3.
- RÚA, M. A., NIJER, S., JOHNSON, A., ROGERS, W. E., SIEMANN, E.: *Experimental approaches to test allelopathy: a case study using the invader *Sapium sebiferum**. V *Allelopathy Journal*, 22 (2008), 1, str. 1–14.
- SATYAGOPAL, K., SUSHIL, S. N., JEYAKUMAR, P., SHANKAR, G., SHARMA, O. P., SAIN, S. K., BOINA, D. R., CHATTOPADHYAY, D., SUNANDA, B. S., ASRE, R., MURALI, R., KAPOOR, K. S., ARYA, S., KUMAR, S., PATNI, C. S., NARAYANASWAMY, H., KALLESHWARASWAMY, C. M., SRIVASTAVA, P., SINGH, K. P., PATEL, B. R., KHALKO, S., LASKAR, N., ROY, A., HATH, T. K.: *AESA based IPM package for Black Pepper*. Pdf. Dostopno na naslovu: <http://ppqs.gov.in/sites/default/files/blackpepper.pdf> (10. 12. 2020).
- SCHULZ, H., BARANSKA, M., QUILITZSCH, R., SCHÜTZE, W., LÖSING, G.: *Characterization of peppercorn, pepper oil, and pepper oleoresin by vibrational spectroscopy methods*. V *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53 (2005), 9, str. 3358-3363.
- SCOTT, I. M., JENSEN, H. R., PHILOGÈNE, B. J., ARNASON, J. T.: *A review of *Piper* spp. (Piperaceae). Phytochemistry, insecticidal activity and mode of action*. V *Phytochemistry Reviews*, 7 (2008), 1, str. 65–75.
- SEIGLER, D.S.: *Basic pathways for the origin of allelopathic compounds*. V *Allelopathy: A physiological process with ecological implications*. REIGOSA, M. J., PEDROL, N., GONZALEZ, L. (ur.). Dordrecht, Springer, 2006, str. 11-61. ISBN: 978-1-4020-4279-9.
- SHENG-LI, Z. H. A. N.: *Preliminary study on the allelopathy of *Piper nigrum* L.* Spletna stran (CNKI).  
Dostopno na naslovu: [https://en.cnki.com.cn/Article\\_en/CJFDTOTAL-AHNY200903016.htm](https://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-AHNY200903016.htm) (26. 1. 2021).
- SIDDIQUI, Z. S.: *Allelopathic effects of black pepper leaching on *Vigna mungo* (L.) Hepper*. V *Acta Physiologiae Plantarum*, 29 (2007), 4, str. 303–308.
- SINGH, A., DUGGAL, S.: *Piperine - Review of Advances in Pharmacology*. V *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Nanotechnology*, 2 (2009), 3, str. 615–620.

SINGH, V. K., SINGH, P., MISHRA, A., PATEL, A., YADAV, K. M.: *Piperine: Delightful surprise to the biological world, made by plant »pepper« and a great bioavailability enhancer for our drugs and supplements.* V *World J Pharmac Res*, 3 (2014), 6, str. 2084–2098.

SLAPNIČAR, M., BOH PODGORNIK, B.: *Naravne spojine v živih sistemih*, univerzitetni učbenik. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Pedagoška fakulteta, 2021. ISBN: 0120007800.

STRGULC KRAJŠEK, S., BAČIČ, T., JOGAN, N.: *Invazivne tujerodne rastline v Mestni občini Ljubljana.* Ljubljana: Mestna občina Ljubljana, oddelek za varstvo okolja, 2016, str. 6–58. ISBN: 978-961-6449-67-0.

SULIMAN, M. M.: *Identification of essential oil and piperine obtained from black pepper.* Magistrsko delo. Sudan University of Science and Technology, College of Graduate Studies, Sudan (2016). 56 str.

SUNILA, E. S., KUTTAN, G.: *Immunomodulatory and Antitumor activity of Piper longum Linn. and Piperine.* V *Journal of Ethnopharmacology*, 90 (2004), 2-3, str. 339–346.

SUPERFOODLY. 2018. *What's a Green Peppercorn? Perhaps Healthier Than Black Pepper.*

Dostopno na naslovu: <https://www.superfoodly.com/green-peppercorn/> (22. 12. 2020).

SUWITCHAYANON, P., OHNO, O., SUENAGA, K., KATO-NOGUCHI, H.: *Phytotoxic property of Piper retrofractum fruit extracts and compounds against the germination and seedling growth of weeds.* V *Acta Physiologiae Plantarum*, 41 (2019), 3, str. 33.

ŠOLN, K.: *Vpliv izvlečkov korenin japonskega in češkega dresnika na kalitev, rast ter strukturne in biokemijske značilnosti vrtnih redkvic.* Magistrsko delo. Biotehniška fakulteta, študij molekulske in funkcionalne biologije, Ljubljana (2018), str. 1–93.

TAVARES, W. S., CRUZ, I., PETACCI, F., FREITAS, S. S., SERRÃO, J. E., ZANUNCIO, J. C.: *Insecticide activity of piperine: Toxicity to eggs of Spodoptera frugiperda (Lepidoptera: Noctuidae) and Diatraea saccharalis (Lepidoptera: Pyralidae) and phytotoxicity on several vegetables.* V *Journal of Medicinal Plants Research*, 5 (2011), 21, str. 5301–5306.

TESIO, F., FERRERO, A.: *International Journal of Sustainable Development & World Ecology: Allelopathy, a chance for sustainable weed management.* V *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 17 (2010), 5, str. 377–389.

THALER, N., BAJC, M.: *Vpliv glivnih in rastlinskih sekundarnih metabolitov na verižno reakcijo s polimerazo (PCR).* V *Acta Silvae et Ligni*, (2013), 100, str. 24–40.



TIWARI, A., MAHADIK, R. K., GABHE, Y. S.: *Piperine: A comprehensive review of methods of isolation, purification, and biological properties*. V *Medicine in Drug Discovery*, 7 (2020), str. 1–20.

USDA. 2020. United States Department of Agriculture. Dostopno na naslovu: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/170931/nutrients> (28. 11. 2020).

USDA. 2020. United States Department of Agriculture. Dostopno na naslovu: <https://plants.usda.gov/core/profile?symbol=SOCA6> (19. 11. 2020).

VASAVIRAMA, K., UPENDER, M.: *Piperine: a valuable alkaloid from piper species*. V *International Journal Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 6 (2014), 4, str. 34–38.

VERMA, V. C., LOBKOVSKY, E., GANGE, A. C., SINGH, S. K., PRAKASH, S.: *Piperine production by endophytic fungus Periconia sp. isolated from Piper longum L.* V *The Journal of Antibiotics*, 64 (2011), str. 427–431.

WADHWA, S., SINGHAL, S., RAWAT, S.: *Bioavailability Enhancement by Piperine: A Review*. V *Asian Journal of Biomedical and Pharmaceutical Sciences*, 4 (2014), 34, str. 1–8.

WEIR, T. L., PARK, S-W., VIVANCO, J. M.: *Biochemical and physiological mechanisms mediated by allelochemicals*. V *Current opinion in plant biology*, 7 (2004), 4, str. 472–479.

WHITTAKER, R. H., FEENY, P. P.: *Allelochemics: Chemical interactions between species*. V *Science*, 171 (1971), 3973, str. 757–770.

XUAN, T. D., QUAM, N. V., QUAN, N. T., RAYEE, R., KHANH, T. D., TRAN, H. D., TRUNG, N. T.: *Allelopathic Plants: 26. Alpina zerumbet (Pers.) B.L.Burt & R.M.Sm. (Zingiberaceae)*. V *Allelopathy Journal*, 48 (2019), 1, str. 1–14.

YAN, G., ZHU, C., LUO, Y., YANG, Y., WEI, J.: *Potential allelopathic effects of Piper nigrum, Mangifera indica and Clausena lansium*. V *The Journal of Applied Ecology*, 17 (2006), 9, str. 1633-1636.

ZRCSAZU. 2020. Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti.

Dostopno na naslovu: <https://isjfr.zrc-sazu.si/sl/terminologisce/slovarji/botanici/iskalnik?iztocnica=prim%C3%A1rni%20metabol%C3%ADt#v> (8. 11. 2020).

ŽERJAV, M.: *Pepelasta pegavost fižolovih stebelc*. Pdf.

Dostopno na naslovu: [https://www.ivr.si/wp-content/uploads/2020/07/macrophomina\\_fi%C5%BEol.pdf](https://www.ivr.si/wp-content/uploads/2020/07/macrophomina_fi%C5%BEol.pdf) (2. 12. 2020).

ŽONTAR, A.: *Razširjenost in problematika invazivnih tujerodnih rastlinskih vrst v upravni enoti Škofja Loka*. Diplomsko delo. Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Ljubljana (2016). str. 62

## VIRI SLIK

- AUSTIN. 2020. The 2D structure of Aconitine rendered using ACD/ChemSketch. *Wikimedia* [online]. 2020. [Citirano 8. 11. 2020; 12:32]. Dostopno na spletnem naslovu:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Aconitine#/media/File:Aconitine\\_2D\\_Structure.png](https://en.wikipedia.org/wiki/Aconitine#/media/File:Aconitine_2D_Structure.png)
- CALVERO. 2007. Chemical structure of ibogaine. *Wikimedia* [online]. [Citirano 8. 12. 2020; 15:29]. Dostopno na spletnem naslovu:  
<https://en.wikipedia.org/wiki/File:Ibogaine.svg>
- CALVERO. 2007. Chemical structure of paclitaxel, trade name Taxol®. *Wikimedia* [online]. [Citirano 9. 12. 2020; 14:03]. Dostopno na spletnem naslovu:  
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Taxol.svg>
- CALVERO. 2007. Chemical structure of tubocurarine (cation part). *Wikimedia* [online]. [Citirano 8. 11. 2020; 12:39]. Dostopno na spletnem naslovu:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Tubocurarine\\_chloride#/media/File:Tubocurarine.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/Tubocurarine_chloride#/media/File:Tubocurarine.svg)
- CHOPRA, Bhawna, KUMAR DHINGRA, Ashwani, NANDAN PRASAD DEO, Deo, PRAKASH KAPOOR, Ram. 2016. Piperine and Its Various Physicochemical and Biological Aspects: A Review. *Open Chemistry Journal* [online]. Avg., let. 3. [Citirano 30. 10. 2020; 15: 30], str. 76. Dostopno na spletnem naslovu:  
<https://www.benthamopen.com/CHEM/>
- EDGAR. 2012. Chemical structure of solanidine. *Wikipedia* [online]. [Citirano 9. 12. 2020; 14:04]. Dostopno na spletnem naslovu:  
<https://en.wikipedia.org/wiki/File:Solanidine.svg>
- FVASCONCELLOS. 2008. Skeletal formula of retronecine. *Wikimedia* [online]. [Citirano 9. 12. 2020; 13:53]. Dostopno na spletnem naslovu:  
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Retronecine.svg>
- GASPERL, Michael. 2005. Fallopija-japonica (Blätter).jpg. *Wikimedia* [online]. [Citirano 19. 11. 2020; 18:50]. Dostopno na spletnem naslovu:  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fallopija-japonica\(Blaetter\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fallopija-japonica(Blaetter).jpg)
- GAVRILOV, S. 2019. Пузыреплодник калинолистный (*Physocarpus opulifolius* (L.) Maxim.) [online]. [Citirano 19. 11. 2020; 18:32]. Dostopno na spletnem naslovu:  
[http://oldboy.icnet.ru/SITE\\_2103/MY\\_SITE/My\\_rast/Physocarpus\\_opulifolius/Physocarpus\\_opulifolius.htm](http://oldboy.icnet.ru/SITE_2103/MY_SITE/My_rast/Physocarpus_opulifolius/Physocarpus_opulifolius.htm)
- HARBIN. 2008. 2D structure of cholinergic drug nicotine. *Wikimedia* [online]. [Citirano 8. 11. 2020; 11:49]. Dostopno na spletnem naslovu:  
<https://en.wikipedia.org/wiki/Nicotine#/media/File:Nicotine.svg>

HARBIN. 2009. 2D structure of atropine. *Wikipedia* [online]. [Citirano 9.12.2020; 13:58].  
Dostopno na spletnem naslovu: <https://en.wikipedia.org/wiki/File:Atropine.svg>

HARI KRISHNAN, K. 2012. Unripe drupes of *P. nigrum*. *Wikipedia* [online]. [Citirano  
17. 3. 2021; 17:40]. Dostopno na spletnem naslovu:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Black\\_pepper#/media/File:Black\\_Pepper\\_\(Piper\\_nigrum\)  
\)\\_fruits.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Black_pepper#/media/File:Black_Pepper_(Piper_nigrum)_fruits.jpg)

JOGAN, Nejc, KUS VEENVLIET, Jana, VEENVLIET, Paul. 2012. Priročnik za sistematično kartiranje invazivnih tujerodnih rastlinskih vrst: Kanadska zlata rozga (*Solidago canadensis*). [online]. Avg. [Citirano 15. 11. 2020; 11:36], str. 45. Dostopno na spletnem naslovu: [https://tujerodne-vrste.info/wp-content/uploads/2018/01/Prirocnik\\_popisovanje\\_rastlin.pdf](https://tujerodne-vrste.info/wp-content/uploads/2018/01/Prirocnik_popisovanje_rastlin.pdf)

JOGAN, Nejc, KUS VEENVLIET, Jana, VEENVLIET, Paul. 2012. Priročnik za sistematično kartiranje invazivnih tujerodnih rastlinskih vrst: Orjaška zlata rozga (*Solidago gigantea*). [online]. Avg. [Citirano 15. 11. 2020; 11:36], str. 46. Dostopno na spletnem naslovu: [https://tujerodne-vrste.info/wp-content/uploads/2018/01/Prirocnik\\_popisovanje\\_rastlin.pdf](https://tujerodne-vrste.info/wp-content/uploads/2018/01/Prirocnik_popisovanje_rastlin.pdf)

KACZMARSKI, Wojciech. 2007. Kapsaicyna. *Wikimedia* [online]. [Citirano 8. 11. 2020; 12:20]. Dostopno na spletnem naslovu: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kapsaicyna.svg>

KEW SCIENCE. 2017. Piper nigrum (black pepper) mixed peppercorns - Piper nigrum (black pepper) mixed peppercorns. [online]. [Citirano 8. 11. 2020; 16:48]. Dostopno na spletnem naslovu: <http://plantsoftheworldonline.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:682369-1#image-gallery>

OKWUTE, Simon Koma, EGHAREVBA, Henry Omoregie. 2013. Piperine-Type Amides: Review of the Chemical and Biological Characteristics. *Canadian Center of Science and Education* [online]. Jul., let. 5, št. 3 [Citirano 30. 10. 2020; 15: 30], str. 110. Dostopno na spletnem naslovu: <http://dx.doi.org/10.5539/ijc.v5n3p99>

LONG, Nguyen V. 2015. Spread of *Phytophthora capsici* in Black Pepper (*Piper nigrum*) in Vietnam. [online]. [Citirano 2. 12. 2020; 21:25]. Dostopno na spletnem naslovu: [https://www.researchgate.net/publication/281614149\\_Spread\\_of\\_Phytophthora\\_capsici\\_in\\_Black\\_Pepper\\_Piper\\_nigrum\\_in\\_Vietnam](https://www.researchgate.net/publication/281614149_Spread_of_Phytophthora_capsici_in_Black_Pepper_Piper_nigrum_in_Vietnam)

- MILLS, Ben. 2008. Ball-and-stick model of the piperidine molecule, C<sub>5</sub>H<sub>11</sub>N, in the equatorial conformation. *Wikimedia* [online]. [Citirano 25. 3. 2021; 11:49]. Dostopno na spletnem naslovu: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Piperidine-equatorial-3D-balls-B.png>
- NATIONAL PARKS BOARD. 2013. *Piper nigrum*. *Parks Flora & Fauna Web*. [online]. [Citirano 10. 12. 2020; 17:44]. Dostopno na spletnem naslovu: <https://www.nparks.gov.sg/florafauweb/flora/6/8/6862>
- NELSON, Scot C. 2011. Mulch applied at base of a young pepper vine. [online]. [Citirano 8. 11. 2020; 16:39], str. 5. Dostopno na spletnem naslovu: [https://www.doc-developpement-durable.org/file/Culture-epices/poivre/Black\\_pepper\\_specialty\\_crop.pdf](https://www.doc-developpement-durable.org/file/Culture-epices/poivre/Black_pepper_specialty_crop.pdf)
- NELSON, Scot C. 2011. Pepper plants being established on fern stem posts. [online]. [Citirano 8. 11. 2020; 16:32], str. 4. Dostopno na spletnem naslovu: [https://www.doc-developpement-durable.org/file/Culture-epices/poivre/Black\\_pepper\\_specialty\\_crop.pdf](https://www.doc-developpement-durable.org/file/Culture-epices/poivre/Black_pepper_specialty_crop.pdf)
- ELEVITCH, C. 2011. Pepper plants growing on concrete posts. [online]. [Citirano 8. 11. 2020; 16:30], str. 4. Dostopno na spletnem naslovu: [https://www.doc-developpement-durable.org/file/Culture-epices/poivre/Black\\_pepper\\_specialty\\_crop.pdf](https://www.doc-developpement-durable.org/file/Culture-epices/poivre/Black_pepper_specialty_crop.pdf)
- NEUROTIKER. 2007. Coniin. *Wikipedia* [online]. [Citirano 9. 12. 2020; 13:52]. Dostopno na spletnem naslovu: [https://en.wikipedia.org/wiki/File:Coniin\\_-\\_Coniine.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Coniin_-_Coniine.svg)
- NEUROTIKER. 2007. Structure of cocaine. *Wikipedia* [online]. [Citirano 9. 12. 2020; 13:59]. Dostopno na spletnem naslovu: [https://en.wikipedia.org/wiki/File:Kokain\\_-\\_Cocaine.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Kokain_-_Cocaine.svg)
- NEUROTIKER. 2007. Structure of morphine. *Wikimedia* [online]. [Citirano 8. 11. 2020; 11:45]. Dostopno na spletnem naslovu: [https://en.wikipedia.org/wiki/Morphine#/media/File:Morphin\\_-\\_Morphine.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/Morphine#/media/File:Morphin_-_Morphine.svg)
- NEUROTIKER. 2008. Structure of Piperidine. *Wikipedia* [online]. [Citirano 7. 1. 2020; 13:48]. Dostopno na spletnem naslovu: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Piperidin.svg>
- OJIMA, Iwao, IULA, Donna. 1999. New Approaches to the Syntheses of Piperidine, Izidine, and Quinazoline Alkaloids by Means of Transition Metal Catalyzed Carbonylations. *Alkaloids: Chemical and Biological Perspectives* [online]. [Citirano 7. 1. 2021; 1:29], str. 374. Dostopno na spletnem naslovu: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/chin.200011290>

ONLINE PLANT CLINIC. 2020. Fungalpollu image17. [online]. [Citirano 2. 12. 2020; 23:32]. Dostopno na spletnem naslovu: <http://www.cpsskerala.in/OPC/pages/pepperDiseaseFungalPollu.jsp>

RAMESH, R. 2013. Crop: Pepper. *ICAR-Central Coastal Agricultural Resaerch Institute*. [online]. [Citirano 30. 11. 2020; 16:39]. Dostopno na spletnem naslovu: <https://ccari.res.in/dss/pepper.html>

SATYAGOPAL, K., SUSHIL, S. N., JEYAKUMAR, P., SHANKAR, G., SHARMA, O. P., SAIN, S. K., BOINA, D.R., CHATTOPADHYAY, D., SUNANDA, B. S., ASRE, Ram, MURALI, R., KAPOOR, K. S., ARYA, Sanjay, KUMAR, Subhash, PATNI, C. S., NARAYANASWAMY, H., KALLESHWARASWAMY, C. M., SRIVASTAVA, Poonam, SINGH, K. P., PATEL, B. R., KHALKO, Surajit, LASKAR, Nripendra, ROY, Ayon, HATH, T. K. 2014. AESA based IPM package for Black Pepper. *National Institute of Plant Health Management, Rajendranagar*. [online]. [Citirano 10. 12. 2020; 18:30], str. 38. Dostopno na spletnem naslovu: <http://ppqs.gov.in/sites/default/files/blackpepper.pdf>

TRČAK, Branka. 2020. Varstvo okolja: Invazivne tujerodne vrste. *Občina Ljubljana*. [online] [Citirano 15. 11. 2020; 12: 33]. Dostopno na spletnem naslovu: <https://www.ljubljana.si/sl/moja-ljubljana/varstvo-okolja/invazivne-tujerodne-vrste/invazivne-tujerodne-rastline/orjaska-in-kanadska-zlata-rozga/>

VACCINATIONIST. 2016. Skeletal formula of quinine. *Wikimedia* [online]. [Citirano 8. 12. 2020; 16:15]. Dostopno na spletnem naslovu: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Quinine\\_structure.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Quinine_structure.svg)

VINCENTZ, Frank. 2007. Fallopija japonska [online]. [Citirano 9. 1. 2021; 22.50]. Dostopno na spletnem naslovu: [https://sl.wikipedia.org/wiki/Invazivna\\_vrsta#/media/Slika:Fallopija\\_japonska\\_10\\_ies.jpg](https://sl.wikipedia.org/wiki/Invazivna_vrsta#/media/Slika:Fallopija_japonska_10_ies.jpg)

## ZAHVALA

Najprej bi se rade zahvalile Biotehniškemu izobraževalnemu centru Ljubljana, saj nam je omogočil izvedbo projektnega raziskovalnega dela.

Zahvaljujemo se naši šolski mentorici Darji Rizmal, prof. kem. in biol. Hvala, ker ste nas prijazno sprejeli in nam omogočili sodelovanje s Pedagoško in Biotehniško fakulteto. Prav tako pa bi se zahvalile tudi za vso podporo in tople besede.

Posebna zahvala gre tudi našima zunanjima mentorjema:

- (1) asist. Mateju Vošnjaku, mag. inž. hort. (UL BF) in
- (2) asist. Mihi Slapničarju, prof. kem. in biol. (UL PEF).

Obema zunanjima mentorjema hvala za natančno spremljanje našega dela, hitro odzivnost, za vse strokovne nasvete ter vse prijazne in spodbudne besede. Zahvaljujemo se jima tudi za posluh, pripravljenost in pomoč pri pisanju projektne naloge, za pregled, popravke in komentarje.

Sprva načrtovana raziskava z eksperimentom se je zaradi neugodnih okoliščin epidemije COVID-19 preoblikovala v teoretično-raziskovalno nalogo. Iz zbranih teoretičnih izhodišč je v nadaljevanju mogoče zasnovati tudi eksperimentalni del, katerega izvorni rezultati bi nedvomno pripomogli k novim spoznanjem na področju kemije naravnih spojin in biotehnologije.

Teoretična raziskovalna naloga je bila opravljena v sklopu ERASMUS+ projekta z naslovom *Diversity in Science towards Social Inclusion – Non-formal Education in Science for Students` Diversity (DiSSI)*, ki poteka v sodelovanju s Centrom KemikUm Pedagoške fakultete Univerze v Ljubljani.