

OSNOVNA ŠOLA LAVA CELJE

# Fitoremediacija za čistejše Celje

raziskovalna naloga

Področje: ekologija

Avtor:

Tjaša Erjavec, 9. A

Mentor:

mag. Bojan Poznič, prof. kem. in bio.

Mestna občina Celje, Mladi za Celje

Celje, 2016

## KAZALO

<b>KAZALO</b> .....	<b>I</b>
Kazalo shem .....	I
Kazalo fotografij in slik .....	I
Kazalo preglednic .....	II
Kazalo grafov .....	II
<b>ZAHVALA</b> .....	<b>III</b>
<b>IZVLEČEK</b> .....	<b>IV</b>
<b>POVZETEK</b> .....	<b>IV</b>
<b>1. TEORETIČNI UVOD</b> .....	<b>5</b>
1.1. Pojem fitoremidacije .....	7
1.2. Vrste fitoremidacije .....	9
1.3. Izbira rastlin za fitoremediacijo .....	16
1.4. Prednosti in slabosti fitoremediacije .....	19
1.5. Primer fitoremediacije v Sloveniji .....	20
<b>2. OPREDELITEV RAZISKOVALNEGA PROBLEMA, CILJEV, RAZISKOVALNIH VPRAŠANJ IN HIPOTEZ</b> .....	<b>22</b>
2.1 RAZISKOVALNI CILJI .....	22
2.2 RAZISKOVALNA VPRAŠANJA .....	22
2.3 HIPOTEZE .....	22
2.4 IZBOR IN PREDSTAVITEV RAZISKOVALNIH METOD TER POTEK RAZISKOVANJA .....	23
<b>3. PREDSTAVITEV REZULTATOV</b> .....	<b>25</b>
3.1 ANKETA .....	25
3.2 Pogovor s strokovnjakinjo .....	31
<b>4. SKLEP</b> .....	<b>34</b>
<b>5. LITERATURA</b> .....	<b>36</b>

## Kazalo shem

Shema 1. Prikaz nekaterih načinov odstranjevanja onesnaževal. ....	9
Shema 2. Prikazuje metode dela. ....	24

## Kazalo fotografij in slik

Fotografija 1. Rastlina <i>Thlaspi caerulescens</i> (Vir: <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/Thlaspi_caerulescens">https://en.wikipedia.org/wiki/Thlaspi_caerulescens</a> ). ....	10
---	----

Fotografija 2. Rastlina <i>Cardaminopsis halleri</i> (Vir: < <a href="http://www.freenatureimages.eu/plants/Flora%20C/Cardaminopsis%20halleri/index.html">http://www.freenatureimages.eu/plants/Flora%20C/Cardaminopsis%20halleri/index.html</a> >). .....	11
Fotografija 3. Rastlina <i>Alyssum lesbiacum</i> (Vir: < <a href="http://homemadewilderness.com/2010/05/22/alyssum-planted-to-extract-nickel-now-invades-oregon-valley/">http://homemadewilderness.com/2010/05/22/alyssum-planted-to-extract-nickel-now-invades-oregon-valley/</a> >). .....	11
Fotografija 4. Rastlina <i>Agrostis tenius</i> (Vir: < <a href="http://www.lookfordiagnosis.com/mesh_info.php?term=Agrostis&amp;lang=1">http://www.lookfordiagnosis.com/mesh_info.php?term=Agrostis&amp;lang=1</a> >). .....	12
Fotografija 5. Rastlina <i>Festuca rubra</i> (Vir: < <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/Festuca_rubra">https://en.wikipedia.org/wiki/Festuca_rubra</a> >). .....	13
Fotografija 6. Rastlina <i>Hyparrhenia hirta</i> (Vir: < <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/Hyparrhenia_hirta">https://en.wikipedia.org/wiki/Hyparrhenia_hirta</a> >). .....	13
Fotografija 7. Rastlina <i>Lolium perenne</i> (Vir: < <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/Lolium_perenne">https://en.wikipedia.org/wiki/Lolium_perenne</a> >). .....	14
Fotografija 8. Rastlina Shorgum (Vir: < <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/Sorghum">https://en.wikipedia.org/wiki/Sorghum</a> >). .....	15
Fotografija 9. Rastlina <i>Cynodon dactylon</i> (Vir: < <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/Cynodon_dactylon">https://en.wikipedia.org/wiki/Cynodon_dactylon</a> >). .....	15
Fotografija 10. Rastlina Rumeni topol (Vir: < <a href="http://indflower.info/sl/flowering-shrubs-and-trees/tulip-tree-yellow-poplar-tulip-magnolia-whitewood-132">indflower.info/sl/flowering-shrubs-and-trees/tulip-tree-yellow-poplar-tulip-magnolia-whitewood-132</a> >). .....	16

## Kazalo preglednic

Preglednica 1. Prikaz tipičnih rastlin, ki se jih uporabljajo pri različnih fitoremediacijskih pristopih (Sajovic, 2013). .....	18
---	----

## Kazalo grafov

Graf 1. Zastopanost po spolu. ....	23
Graf 2. Zastopanost učencev po razredih. ....	23
Graf 3. Odgovori učencev o tem, ali poznajo pojem fitoremediacija. ....	27
Graf 4. Odgovori učencev o poznavanju težkih kovin. ....	27
Graf 5. Mnenja učencev o dejavnostih, ki onesnažujejo okolje. ....	28
Graf 6. Odgovori učencev o tem, ali lahko težke kovine iz tal pridejo v rastline. ....	29
Graf 7. Mnenja učencev, kako lahko cink in svinec prideta v telo. ....	29
Graf 8. Mnenja učencev o tem, ali bi uporabljali fitoremediacijo na vrtu. ....	30
Graf 9. Odgovori učencev o tem, zakaj nekatere rastline želijo imeti visoke vsebnosti določenih težkih kovin v svojih organih. ....	30
Graf 10. Odgovori učencev na vprašanje, ali so rastline, ki so sposobne kopičiti v organih določene kovine, pridobile kakšno evolucijsko prednost. ....	31

## **ZAHVALA**

Raziskovalno nalogo sem pripravila s pomočjo mentorja, mag. Bojana Pozniča, prof. biologije in kemije, za kar se mu iskreno zahvaljujem.

Zahvaljujem se vsem učenkam in učencem Osnovne šole Lava.

Zahvaljujem se tudi družini in prijateljem za podporo in pomoč pri izdelavi raziskovalne naloge.

Zahvaljujem se tudi gospe ravnateljici Marijani Kolenko in učiteljem, ki so nam pomagali pri izdelavi te raziskovalne naloge.

Zahvaljujem se Bernardi Podgoršek Kovač za odgovore na vprašanja.

Zahvaljujem se Tanji Stermecki za lektoriranje naloge.

Zahvaljujem se komisiji za pregled dela.

## IZVLEČEK

Človeško okolje (tla, vode, zrak) je čedalje bolj onesnaženo. Zaradi postopnega zavedanja negativnih posledic, ki jih ima onesnaženje okolja ne le na zdravje ljudi in bivalne pogoje vseh živih bitij temveč na celoten ekosistem se večajo prizadevanja po odkrivanju in uporabi primernih tehnik in metod čiščenje okolja. Poleg fizikalno – kemijskih in termičnih postopkov čiščenja tal se v zadnjih 20 letih vse bolj uporabljajo tudi biološki postopki čiščenja tal in vod, ki temeljijo na naravnih procesih in uporabi akumulatorskih organizmov, ki lahko kopičijo škodljive snovi v svojih tkivih. Med temi postopki je najbolj razširjena fitoremediacija, ki uporablja rastline za čiščenje tal in voda. Glede na namen čiščenja se fitoremediacija deli na fitoekstrakcijo, fitostabilizacijo, fitoekstrakcijo in fitostabilizacijo.

Ključne besede: okolje, onesnaženost, fitoremediacija, fitoekstrakcija, fitostabilizacija, fitoekstrakcija in fitostabilizacija, cink, svinec, težke kovine.

## POVZETEK

Za današnji čas je značilna rast števila prebivalcev s čimer so se povečale tudi zahteve do okolja v obliki virov, ki jih izrabljamo in odpadkov ki pri tem nastajajo. Nastali so naslednji ekološki problemi kot posledica človeške dejavnosti. Človek zaradi svojega delovanja spreminja okolje v katerem živi. Z dejavnostmi lahko v prst, podtalnico in drugod vnaša tudi težke kovine, ki lahko s prehranjevanjem ali drugače pridejo v naše telo. V raziskovalni nalogi smo podrobneje prikazali fitoremediacijo kot eno izmed bioremediacijskih metod odstranjevanja težkih kovin iz zemlje. Z rezultati raziskovalne naloge smo dobili vpogled v znanje učencev o fitoremediaciji. Ugotovili smo, da se večina učencev naše šole zaveda problema onesnaženosti tal s težkimi kovinami predvsem s svincem, cinkom in bakrom, kot tudi načinov in škodljivosti onesnaževanja na človekovo zdravje. Tla v Mestni občini Celje so onesnažena s težkimi kovinami. Uporaba rastlin za čiščenje tal je cenejša metoda v primerjavi s fizikalno kemijskimi in inženirskimi tehnikami, pa je za očiščenje tal potrebno daljše časovno obdobje. Zato menimo, da je fitoremediacija lahko primerna dopolnilna tehnika čiščenja okolja v Celju.

## 1. TEORETIČNI UVOD

Za današnji čas je značilna rast števila prebivalcev, s čimer so se povečale tudi zahteve do okolja v obliki virov, ki jih izrabljamo in odpadkov, ki pri tem nastajajo. Pri tem so, kot posledica človekove dejavnosti, nastali naslednji ekološki problemi:

- izginjanje naravnega habitata in izumiranje številnih živalskih vrst;
- onesnaževanje voda;
- segrevanje in onesnaževanje ozračja;
- zastrupljanje zemlje;
- izkoriščanje naravnih virov do popolne izrabe (fosilnih goriv, tal in tekoče vode) ...

Današnje onesnaževanje okolja je tesno povezano s funkcioniranjem modernih družb, v katerih prevladuje miselnost, da je človek edini lastnik in gospodar narave, ki mu je dana v neomejeno izkoriščanje. Razvoj ima poleg pozitivnih učinkov na človeštvo tudi svojo temno plat, ker s povečano proizvodnjo in porabo ruši naravno ravnotežje in ogroža zdravje in življenje živih biti (Zapušek, 2003).

Onesnaževanje okolja je neposredno ali posredno vnašanje snovi ali energije v zrak, vodo ali tla. Povzročanje odpadkov je posledica človekove dejavnosti, ki lahko škoduje okolju človekovemu zdravju ali posega v lastninsko pravico tako, da poškoduje ali uniči predmet lastninske pravice ali posega v njeno uživanje ali v pravico do rabe okolja (Ur. l.RS , št.41/04).

V Sloveniji je v zadnjih 25. letih prišlo do velikega gospodarskega prestrukturiranja, ki je povzročilo ukinitve mnogih tovarn, puščajoč za seboj neurejeno stanje zemljišč in objektov. V Sloveniji so glede na veljavno zakonodajo s toksičnimi kovinami onesnažena tla na območju Jesenic, kjer so povečane vsebnosti kadmija, cinka, železa in arzena; območja ob vpadnicah, kjer so zaradi povečanja izpušnih plinov povečane vsebnosti svinca in kadmija; Mežiška kotlina, kjer so tla onesnažena s cinkom, kadmijem in svincem in celjska kotlina, kjer je preko 600 ha površin onesnaženih s cinkom, kadmijem in svincem. Glede na raziskavo iz 1980 je od 2866 ha kmetijskih površin na območju Celja 486 ha tako onesnaženih s težkimi kovinami, da bi na njih morali ustaviti kmetijsko dejavnost (Romih s sodelavci, 2016).

Tla so za človekov obstoj eden izmed najpomembnejših naravnih neobnovljivih virov. Tla so pomemben življenjski prostor tako za organizme, ki živijo na njihovem površju, kot tudi za številne in različne organizme v tleh. Človek že od nekdaj posega v okolje in ga s svojimi dejavnostmi in ravnanji spreminja ter s tem tudi škodljivo vpliva tudi na tla. Onesnaženost tal močno ogroža naravno vegetacijo. V rastlinah se lahko pojavi visok delež toksičnih substanc, ki po prehranbnem ciklu lahko pridejo tudi v človeka.

Človek s svojimi dejavnostmi onesnažuje tla na več načinov, s katerimi se v tla vnašajo organska (na primer pesticidi, nafta, olja..., kot tudi anorganska onesnaževala (na primer kovine). Največjo škodo lahko povzroča odlaganje kemikalij. Gre za gnojila, pesticide (se razgrajujejo zelo počasi), živalske in človeške odplake, odplake iz gospodinjstev in iz vseh vrst tovarn ter za pepel, ki se na zemljo spušča iz atmosfere. Na onesnaženost vplivajo tudi avtomobilске emisije in odlaganje odpadkov kovinske industrije, odlaganje radioaktivnih odpadkov, uporaba insekticidov, herbicidov, fungocidov in bakteriocidov. Najbolj škodljive kovine oz. elementi so živo srebro, svinec, kadmij, nikelj in baker (Sajovic, 1980).

Najbolj ogrožena območja so v bližini rudnikov, tovarn, farm, obdelovalnih površin, območja blizu avtocest, gostega prometa ter območja gosto naseljenih mest, kjer je onesnaženost zelo visoka.

Zaradi nevarnosti, ki jo kovine v tleh pomenijo za ljudi in okolje je treba tlo, ki jih prepoznamo kot onesnažena, izboljšati kakovost in jih remedirati, torej pretvoriti kovine v tleh v neškodljive oblike oziroma jih odstraniti.

Izbira metode čiščenja tal je odvisna od več dejavnikov, in sicer od zahtevane stopnje čiščenja, značilnosti tal, vrste onesnažila in namembnosti zemljišča po čiščenju. Anorganske snovi so večinoma nerazgradljive in hlapne. Čiščenje lahko poteka na mestu onesnaženja ali pa onesnažena tla izkopljemo in šele nato začnemo postopek čiščenja. Najbolj splošno se metode čiščenja delijo na metode, ki kovine odstranijo iz okolja in metode, ki kovine z imobilizacijo spremenijo v nemobilno obliko. Najpreprostejša metoda čiščenja onesnaženih tal je sicer izkop in odvoz onesnaženih tal, ki pa problema onesnaženja ne rešuje temveč le prelaga na drugo lokacijo (Sajovic, 1980).

Remediacijo onesnaženih tal lahko izvajamo na biološki, fizikalno-kemijski ali termični način. Poteka lahko in-situ, na mestu onesnaženja, ali ex-situ, onesnažena tla izkoplremo in začnemo s postopki čiščenja (Sajovic, 1980).

Med ekomediracijskimi pristopi reševanja onesnaženih tal prevladujeta metoda bioremediacije in metoda fitoremediacije.

Bioremediacija je metoda sanacije onesnaženih tal, ki vsebujejo organsko razgradljiva onesnaževala. Metoda obsega razgradnjo, pretvorbo in imobilizacijo onesnaženih tal s pomočjo v tleh prisotnih mikroorganizmov (na primer bakterij, gliv).

### **1.1. Pojem fitoremediacije**

Druga ekomediracijska metoda sanacije onesnaženih tal je fitoremediacija. Pojem fitoremediacije je nastal iz grške besede fito, ki pomeni rastlina in latinske besede remedium, ki pomeni ponovno vzpostavljanje ravnotežja oziroma ozdravitev. (Nešić, 2011) Ameriška agencija za varstvo okolja EPA je definirala fitoremediacijo kot tehnologijo, ki uporablja rastline in njihove rizosferične mikroorganizme da odstrani, degradira ali zadrži škodljive kemijske snovi, ki se nahajajo v zemlji, podzemnih in površinskih vodah ter v ozračju (Marić, 2014).

Pri fitoremediaciji gre torej za proces, ki izkorišča rastline za čiščenje onesnaženih zemljin, podtalnice, površinske vode ali sedimentov na mestu onesnaženja. Te vsrkane strupene snovi se nalagajo:

1. V zgornjih – nadzemnih delih rastline: z žetvijo se rastlina in z njo škodljive snovi odstranijo.
2. V gomoljih oziroma v koreninah: snovi se kopičijo v podzemnem delu rastline.

Pri nekaterih rastlinah se škodljive snovi samo skladiščijo, druge rastline pa te nevarne snovi za okolje pretvarjajo in jih oddajajo v atmosfero v manj nevarni obliki.



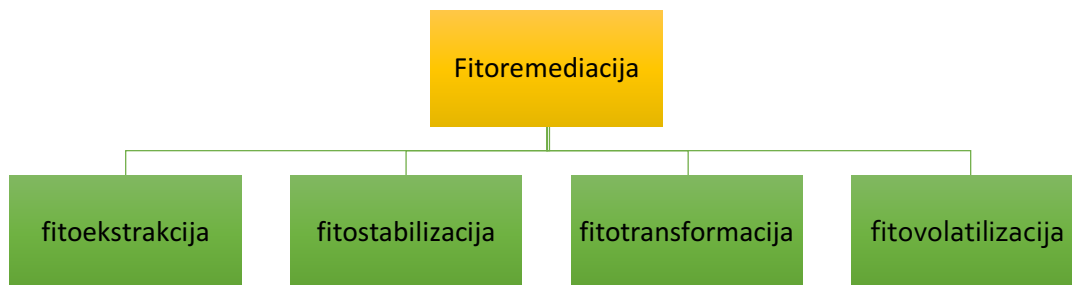
Številne raziskave so namreč pokazale, da lahko izkoriščamo lastnosti posameznih rastlin, ki so sposobne preživeti na onesnaženih območjih, za odstranjevanje kovin iz tal. V ta namen uporabljajo rastline, ki imajo že po naravni poti lastnosti, kot so močna absorpcija, presnova strupenih molekul v manj škodljive, zmanjšanja števila sintetičnih organskih spojin. Procesi fitoremediacije so relativno nova tehnologija, ki je še v fazi razvoja. Prve obširnejše raziskave in praktični poizkusi so se pričeli okrog leta 1990 v ZDA, vendar pa segajo začetki raziskovanja na tem področju še nekoliko bolj v preteklost. Že leta 1885 je Bauman prepoznal nekatere rastlinske vrste, ki so bile sposobne, da akumulirajo neobičajno velike količine cinka (Zn). Do podobnih rezultatov je 1935 prišel tudi Byers, vendar takrat povezanih s polkovino selen (Se) in rastlino *Astragalus* spp. V letu 1948 sta Minguzzi in Vergnano prepoznala rastlinske vrste, ki so bile sposobne akumulirati celo do 1 % nikla (Marić, 2014).

Glede na dosedanje raziskave na področju remediacijskih metod, ki so relativno nove, predstavlja fitoremediacija inovativno metodo za čiščenje onesnaženih sedimentov z uporabo različnih organizmov. Možnost uporabe fitoremediacije je postala prepoznavna tudi z raziskavami naravnih močvirskih sistemov. Danes se fitoremediacio raziskuje in uporablja za namene dekontaminacije sedimentov in različnih tal ter za čiščenje odpadnih voda. V svetu se metoda uporablja predvsem za večja plitvo onesnažena območja z nižjo koncentracijo onesnaževal, za sanacijo območij, ki so namenjena sekundarni rabi ali ki ogrožajo zdravje ljudi (Rozman, 2008).

Čeprav so številne raziskave že izvedene ali pa še potekajo, bo potrebno še veliko truda in napredka, da bi naravni potencial rastlin izkoristil tudi v komercialne namene. Napredek v smislu komercializacije ter biotehnologije je upočasnen z nezadostnim poznavanjem zahtevnega odnosa med rizosfero in mehanizmi, ki temeljijo na sposobnosti rastlin za čiščenje onesnaženega okolja (Marić, 2014).

## 1.2. Vrste fitoremidacije

V spodnji shemi so prikazane najpogostejše vrste in metode fitoremediacije:



Shema 1. Prikaz nekaterih načinov odstranjevanja onesnaževal.

Najpogostejše metode fitoremediacije so fitoekstrakcija, fitostabilizacija, fitotransformacija in fitovolatilizacija.

### 1.2.1. Fitoekstrakcija

Fitoekstrakcija (fitoakumulacija) je uporaba rastlin s ciljem, da se z njihovo pomočjo odstranijo onesnaževalci, predvsem težke kovine iz zemlje. V tem pristopu se uporabljajo rastline, ki so sposobne kovinske onesnaževalce preko korenin rastline akumulirati v nadzemne dele rastlin – stebela in liste. Določene vrste rastlin so na primer sposobne akumulirati 50 do 100 - krat višjo količino kovin v primerjavi z navadnimi rastlinami. Med take rastline uvrščamo, na primer gozdni mošnjak, (*Thaspi caerulescens*) in *Cardaminipolis halleri*, ki lahko akumulirata cink in kadmij ter *Alyssum lesbiacum*, ki lahko akumulira nikelj. Te rastline sicer že rastejo v krajih, ki naravno vsebujejo velike količine kovin (Sajovic, 1980). Različne vrste rastlin lahko akumulirajo različne težke kovine ter celo radiaktivne elemente. Demonstracijski projekti so bili izvedeni na več lokacijah, kot na primer v Černobilu v Rusiji, ki je bil zelo onesnažen z radiaktivnimi elementi po eksploziji jedrskega reaktorja. Ugotovljeno je bilo, da se lahko zemljišča kontaminirana z uranom obdelajo s citronsko kislino, kar za 100 -krat poveča možnost akumulacije tega radioaktivnega elementa v korenski sistem rastlin.

Znanstveniki so tudi ugotovili, da vrsta *Amaranthus retroflexus* celo do 40 krat bolj akumulira celzij iz kontaminiranega zemljišča kot ostale rastline. V 3 mesecih kolikor traja ena vegetacijska sezona je bilo odstranjeno približno 3 % od skupne količine celzija, kar pomeni, da bi bila cela količina odstranjena v 15 letih. Čeprav nekatere rastline posedujejo genski potencial za odstranjevanje težkih kovin, pa imajo tudi negativne lastnosti z vidika biotehnologije. Večina rastlin, ki so hiperakumulatorji, so majhne in počasi rastoče. Z genskim inženiringom bi se lahko te lastnosti izboljšale (Marić, 2014).

Ko rastline dosežejo določeno višino rasti in razvoja se izvede žetev biomase iznad površine zemlje in odstranitev gornjega dela rastline. Posledično se na takšen način del težkih kovin, ki se nahaja v zemlji, odstrani. Translokacija kovin v nadzemni del rastline je ključni biokemijski proces, ki je zaželen vedno takrat, ko ni mogoče odstraniti korenin rastline (Marić, 2014).

Primeri rastlin primernih za fitoekstrakcijo:



Fotografija 1. Rastlina *Thlaspi caerulescens* (Vir: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Thlaspi\\_caerulescens](https://en.wikipedia.org/wiki/Thlaspi_caerulescens)>).



Fotografija 2. Rastlina *Cardaminopsis halleri*  
(Vir: <<http://www.freenatureimages.eu/plants/Flora%20C/Cardaminopsis%20halleri/index.html>>).



Fotografija 3. Rastlina *Alyssum lesbiacum* (Vir: <<http://homemadewilderness.com/2010/05/22/alyssum-planted-to-extract-nickel-now-invades-oregon-valley/>>).

### 1.2.2. Fitostabilizacija

Fitostabilizacija je uporaba določenih rastlin za stabilizacijo onesnaževalcev v zemlji. Gre za proces akumulacije in absorpcije težkih kovin v korenine, adsorpcije na korenine in obarjanje v okolici korenin. Hkrati pa korenine zaradi pokrovnosti stabilizirajo razmere v tleh in preprečujejo prašenje onesnaženih delcev iz tal (Sajovic, 2013). Žetev rastlin ni del procesa fitostabilizacije. Prav zato v tem procesu rastline onesnaževalcev ne odstranijo iz zemlje temveč jih imobilizirajo in ohranijo v okviru rastlinskega sistema. Bistvo tega procesa je torej v akumulaciji onesnažene zemlje ali podzemnih voda v rastlinski biomasi ali rizosferi, s čimer

se zmanjša možnost prehoda onesnaževalcev na druga območja. Ker se kovine v tem procesu ne razkrajajo se postavlja tudi vprašanje ali je tak način čiščenja najprimernejši. Proces se uporablja predvsem na območjih z nizko stopnjo onesnaženosti ter na večjih območjih, kjer drug način čiščenja ni mogoč ( Sajovic, 2013).

Fitostabilizacija poteka v območju korenin z mikrobiološkimi ali kemijskimi mehanizmi, pri čemer prihaja do spremembe kemijske sestave zemljišča ali spremembe pH vrednosti zemlje kot posledice nastajanja ogljikovega dioksida ali izdvajanja izločka korenin.

Fitostabilizacija ni trajna rešitev, kajti težke kovine ostajajo v zemlji. Omejeno je le prehajanje na druga območja. Pravzaprav je to strategija upravljanja in stabilizacije potencialno toksičnih onesnaževalcev. Primerna je za čiščenje zemlje ter sedimentov, ki vsebujejo onesnaževala v območju (coni) koreninskega sistema. V tem pogledu se posebej proučuje topole, ker imajo le ti korenine ki segajo od 1,5 m do 3 m. Prednosti tega sistema so v tem, da ni potrebno odstranjevati zemlje in jo transportirati na drugo lokacijo s čimer se dosega večja ekonomičnost zaradi nizkih stroškov. Slabost tega sistema pa je v tem, da se onesnaževala vežejo na lokacijo na kateri je vegetacija, ki jo je potrebno vzdrževati z meliorativnimi ukrepi in gnojenjem v nekem daljšem časovnem obdobju. Nevarnost prav tako obstaja, kajti v določenem časovnem obdobju lahko pride do raztopljevanja težkih kovin in njihovega naknadnega izpiranja v globlje sloje izven koreninskega sistema. Vse to pa terja stalen nadzor nad območjem, kjer je bila ta metoda uporabljena (Marić, 2014).

Primeri rastlin primernih za fitostabilizacijo:



Fotografija 4. Rastlina *Agrostis tenuis* (Vir: <[http://www.lookfordiagnosis.com/mesh\\_info.php?term=Agrostis&lang=1](http://www.lookfordiagnosis.com/mesh_info.php?term=Agrostis&lang=1)>).



Fotografija 5. Rastlina Festuca rubra (Vir: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Festuca\\_rubra](https://en.wikipedia.org/wiki/Festuca_rubra)>).



Fotografija 6. Rastlina Hyparrhenia hirta (Vir: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Hyparrhenia\\_hirta](https://en.wikipedia.org/wiki/Hyparrhenia_hirta)>).

### 1.2.3. Fitotransformacija

Fitotransformacija (Fitodegradacija) vključuje biološko razgradnjo onesnaževalce, pri čemer lahko razgradnja oziroma degradacija poteka interno – znotraj samih rastlin, v okolici rastlin pod delovanjem njenih encimov ali z izločanjem encimov rastlin v samo zemljo v neodvisnosti od mikroorganizmov v rizosferi (Marić, 2014).

Lastnosti molekul onesnaževal, kot so na primer topljivost, hidrofobnost, v marsičem vplivajo na uspešnost te biotehnologije. Fitotransformacija je omejena na razgradnjo organskih

onesnaževal, zato ker so težke kovine nerazgradljive (Marič, 2014). Kompleksne organske molekule se s pomočjo biodegradacije razgradijo v enostavnejše, ki jih potem rastline vključijo v svoje tkivo. Zaradi prisotnosti izvenceličnih encimov se lahko ta proces uporablja za razgradnjo različnih vrst kemikalij, na primer kloriranih topil, eksplozivov in herbicidov. Ker je proces odvisen od neposrednega črpanja onesnaževalcev iz zemlje ali vode in akumuliranja v rastlinskem tkivu, je zelo pomembno, da so akumulirane spojine nestrupene ali pa vsaj občutno manj strupene kot spojine v samem onesnaževalcu (Vovk Korže in Janškovec, 2007).

Metoda fitotransformacije je koristna pri čiščenju onesnažene plitke zemlje kot tudi podzemnih in površinskih voda.

Primeri rastlin primernih za fitotransformacijo:



Fotografija 7. Rastlina *Lolium perenne* (Vir: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Lolium\\_perenne](https://en.wikipedia.org/wiki/Lolium_perenne)>).



Fotografija 8. Rastlina Shorgum (Vir: <<https://en.wikipedia.org/wiki/Sorghum>>).



Fotografija 9. Rastlina Cynodon dactylon (Vir: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Cynodon\\_dactylon](https://en.wikipedia.org/wiki/Cynodon_dactylon)>).

#### 1.2.4. Fitovolatilizacija

Fitovolatilizacija je proces črpanja onesnaževalcev s pomočjo rastlin, njihova transformacija in njihovo izpuščanje v atmosfero. Ta biotehnološka metoda v svojem bistvu sloni na transpiracijskem potegu hitro rastočih rastlin, ki pospešuje črpanje onesnaževalcev iz zemlje ali podtalnih voda, ki potem izhlapijo skozi liste rastline. Rastlina te onesnaževalce transformira v nenevarne ali manj nevarne snovi. Eden izmed primerov fitovolatilizacije je poizkus z gensko spremenjenim rumenim topolom, ki so mu dodali gen za redukcijo živega srebra. S tem so omogočili, da je rastlina zmožna prenašati bistveno višjo koncentracijo



živega srebra. Rastlina lahko spremeni obliko kovinskih ionov živega srebra v elementarne snovi, ki jih skozi liste izloči v atmosfero (Vovk Korže in Janškovec, 2007).

Uporaba te tehnike je omejena z dejstvom, da se ne odstrani onesnaževalo, temveč se samo prenaša iz enega segmenta (zemlje) v drugi (atmosfero), od koder se lahko ponovno vrne v zemljo ali vodo.

Onesnažila iz podtalnice, tal, sedimentov ali blata s pomočjo vode prehajajo v rastline in preko listov izhlapijo v atmosfero v prvotni ali modificirani obliki. V literaturi se s to tehniko omenja samo čiščenje tal onesnaženih z živim srebrom (Hg), ter polkovinama selenom (Se) in arzenom (As).

Primer rastline primerne za fitovolatilizacijo:



Fotografija 10. Rastlina Rumeni topol (Vir: <[indflower.info/sl/flowering-shrubs-and-trees/tulip-tree-yellow-poplar-tulip-magnolia-whitewood-132](http://indflower.info/sl/flowering-shrubs-and-trees/tulip-tree-yellow-poplar-tulip-magnolia-whitewood-132)>).

### **1.3. Izbira rastlin za fitoremediacijo**

Pri različnih metodah fitoremediacije je zelo pomembna izbira rastlin. Primerno rastlino izberemo glede na tip tal, rastne razmere, vrsto onesnaževalca in njegovo biološko

dostopnost (Vovk Korže in Janškovec, 2007). Na primer za proces organske fitotransformacije se uporabljajo rastline, ki so odporne, hitro rastoče, nezahtevne za vzdrževanje, imajo velik transpiracijski poteg in lahko transformirajo strupene snovi v manj strupene. V veliki večini so primerne rastline z globokimi koreninami. Najpogosteje so v uporabi vrbe in topoli zaradi hitre rasti, dobri akumulatorji so trave in rastline iz rodu križnic Brassicaceae.

Na posameznih območjih je zelo primeren način sejanja travnih vrst skupaj z različnimi vrstami dreves, s čimer je omogočeno tako čiščenje globokih kot tudi plitvejših tal. Travnate koreninice so zelo primerne za čiščenje benzena, toluena, etilbenzena, ksilenov ali policikličnih aromatičnih karbonatov (Vovk Korže in Janškovec, 2007).

Znanstveniki so odkrili približno štiri tisoč vrst rastlin, ki so odporne za tovrstno čiščenje prsti in vode.

Rastline, ki so primerne za fitoremediacijo delimo v dve veliki skupini:

1. rastline metalofite;
2. rastline hiperakumulatorji.

Metalofite so rastline, ki so posebej prilagojene za rast in razvoj na zemljiščih bogatih s težkimi kovinami. Površine, na katerih rastejo rastline odporne na težke kovine, so zemljišča v okolici rudnih nahajališč. Izpostavljanje presežkov različnih kovin skozi tisočletja je privedlo k nastanku rastlin odpornih na težke kovine (metalofitov). Te rastline v glavnem pripadajo rodu Brassicaceae. Njihova samostojna uporaba ali v kombinaciji z mikroorganizmi je privlačna ideja. Metalofiti so razdeljeni v tri skupine: rastline, ki akumulirajo kovine v koreninah, (metal excluders) indikatorje kovin (metal indicators) in hiperakumulatorje kovine (metal hyperaccumulators) (Marić.2014).

Izraz hiperakumulator je prvi uporabil Brooks (1977), ki je definiral rastline, ki vsebujejo nikelj v koncentraciji večji od 1.000 mg/kg suhe materije (0.1%). Za rastline hiperakumulatorji je značilno, da so sposobne absorbirati zelo velike količine kovin v primerjavi z navadnimi rastlinami, in sicer od 50 do 100 - krat višjo količino, občasno pa tudi več. Dejstvo pa je, da standard za hiperakumulacijo še ni znanstveno definiran (Marić, 2014). Med hiperakumulatorje uvrščamo, na primer gozdni mošnjak (*Thapsi caerulescens*) in *Cardaminopsis halleri*, ki akumulirata cink in kadmij ter *Alyssum lesbiacum*, ki lahko

akumulira nikelj (Sajovic, 1980). Do danes je prepoznano preko 400 rastlinskih vrst iz okoli 45 rodov rastlin ki so definirane kot hiperakumulatorji ene ali več kovin. Največje število rastlin hiperakumulira nikel (Ni), približno 30 rastlin absorbira ali kobalt (Co) ali baker (Cu) oziroma cink (Zn), majhno število rastlin pa akumulira mangan (Mn) in kadmij (Cd) (Marić, 2014).

Preglednica 1. Prikaz tipičnih rastlin, ki se jih uporabljajo pri različnih fitoremediacijskih pristopih (Sajovic, 2013).

Uporaba	Medij	Onesnaževalo	Tipične rastline
FITOTRANSFORMACIJA	Tla, podtalnica, izcedna voda, čiščenje odpadne vode z vnosom vode v tla	<ul style="list-style-type: none"> <li>•herbicidi (altrazin, alachlor)</li> <li>•aromatske spojine</li> <li>•klorirane alifatske spojine (TCE)</li> <li>•rastlinska hranila (NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>,)</li> <li>•razstreliva</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•lesne vrste (topol, vrba, trepetlika, jelša)</li> <li>•trave (Lolium perenne, Festuca, Shorgum, Cynodon dactylon)</li> <li>•metuljnice(detelja, alfalfa, Vigna unguiculata)</li> </ul>
FITOSTABILIZACIJA	Tla, sedimenti	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Kovine (Pb,Cd, Zn,As, Cu, Cr, Se U)</li> <li>•hidrofobne organske spojine (PAHi, PBCi, dioxini, furani,pentachlorop henol, DDT, dieldrin)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Lesne vrste z visoko evapotranspiracijo</li> <li>•trave z močnim koreninskim sistemom za preprečevanje erozije</li> <li>•rastline z gostim koreninskim sistemom</li> </ul>
FITOEKSTRAKCIJA	Tla, sedimenti, onesnažena	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Kovine (Pb,Cd,Zn,Ni, Cu) z dodatkom EDTA</li> </ul>	Sončnica, Brassica juncea, Brasica napus, trave iz rodu

	industrijska območja	tudi PB Se (izhlapevanje)	Hordeum, hmelj, križnice, kopriva, regrat
FITOVOLATILIZACIJA	Tla, podtalnica, voda	Kovine (živo srebro (Ag), selen (Se), arzen (As))	topol

#### 1.4. Prednosti in slabosti fitoremediacije

Kot vsaka metoda ima tudi metoda fitoremediacije določene prednosti in slabosti. Ena od največjih prednosti fitoremediacije in drugih biotehnologij, kot na primer bioremediacija je v tem, da spada od eno izmed poceni biotehnologij, ki je poleg tega tudi naravna, saj se kot dejavniki prečiščevanja uporabljajo izključno naravni objekti, ki lahko rastejo tudi sicer na onesnaženem območju. Zagotavljanje energije za to biotehnologijo se zagotavlja na popolnoma naraven način, kajti rastline uporabljajo energijo sonca v obsegu, ki je nujen za rast, razvoj in obnavljanje fizioloških procesov kot tudi za mehanizem fitoremediacije. Fitoremediacija ima tudi določene posredne učinke, ki niso tako nepomembni za vsakodnevno življenje v nekem okolju. Z zasaditvijo nekaterih drevesnih vrst se ustvarjajo varovalni pasovi, ki lahko učinkovito zmanjšujejo hrup v okolju, predstavljajo zaščito od vetra, zmanjšajo emisijo ogljikovega dioksida v atmosfero (Marič, 2014).

Uspešnost fitoremediacije je odvisna od stopnje onesnaženosti zemlje, dostopnosti kovin do korenin rastlin ter od sposobnosti rastlin, da absorbirajo in akumulirajo težke kovine. Prav tako obstojijo omejitve glede tipa in koncentracije onesnaženja, ki je prisotno v naravi. Prevelika koncentracija onesnaženosti, ki presega prečiščevalne sposobnosti rastlin (na primer s pesticidi) prav lahko povzroči nezmožnost rastlin za učinkovito sanacijo zemlje. Eden izmed pomembnih dejavnikov uspešnosti fitoremediacije je tudi dostopnost onesnaževal do rastline. Da bi se onesnaževalo lahko saniralo ne sme biti pregloboko v zemlji, glede na to, da so procesi fitoremediacije tesno povezani s koreninami rastline.

Čeprav je fitoremediacija obetaven pristop za remediacijo zemlje kontaminirane s težkimi kovinami, ima tudi določene omejitve in slabosti, kot na primer (Sajovic, 2013):

- dolgo časovno obdobje za čiščenje zemlje;
- učinkovitost fitoremediacije je pri večini hiperakomulatorjev omejena z njihovo počasno rastjo in malo biomaso;
- uporaba je omejena na zgornje plasti tal;
- vezanost na vegetativno sezono.

### **1.5. Primer fitoremediacije v Sloveniji**

V Sloveniji imamo kar nekaj primerov, kako očistiti prst ali vodo s pomočjo tehnik bioremediacije.

V Mežiški dolini v bližini rudnika in talilnice svinca je zaradi visoke onesnaženosti s kadmijem (Cd), cinkom (Zn), svincem (Pb) in žveplovim dioksidom (SO<sub>2</sub>), avtohtona vegetacija povsem propadla, zaradi česar prihajajo erozije in zapraševanje okolja. Visoka onesnaženost je posledica dolgotrajnega aktivnega rudarjenja in plavžarskega obdelovanja svinčeve rude, ki je potekalo vse od 15. stoletja dalje. Da bi rešili problem erozije in zapraševanja so nasadili rastline, ki imajo veliko koreninsko razrast, prilagojene so na višje koncentracije kovin, dobro uspevajo na revni podlagi, so nezahtevne za gojenje in se hitro razraščajo ter prekrijejo tla. Pomembno je tudi, da rastline slabo transportirajo kovine v poganjke, ki bi jih lahko zaužili ljudje ali živali. Pri izbiri rastlin so uporabili kriterije: šopasta razrast, občutljivost rastlin na kovine ter njihovo zadrževanje v koreninah. Po teh kriterijih so izbrali tri vrste trav: rdečo bilnico (*Festuca rubra*L.), pasjo travo (*Dactylis glomerata* L.) in ovčjo bilnico (*Festuca ovina* L.). Uporabili so metodo fitostabilizacije, ki pomaga stabilizirati plutante v zelo kontaminirani zemlji, da se prepreči razširjanje v podtalnico in v okolico (Vovk Korže in Janškovec, 2007).

Opravljenе raziskave v Mestni občini Celje so pokazale, da je območje Celja onesnaženo s težkimi kovinami. Prevladuje onesnaženje s kadmijem, cinkom in svincem. Prostorska razporeditev kadmija, cinka in delno tudi svinca je podobna. Največja vrednost omenjenih težkih kovin so bile določene v starem delu mesta ter na vzhodni industrijski strani mesta. Onesnažena tla se razprostirajo pretežno v smeri vzhod – zahod. Obremenjena tla v Mestni občini Celje so zlasti odraz izrazitega razvoja industrije v 19. in 20. stoletju ter posledica kmetijstva, prometa in zgoščenega urbanega naselja. Na območju Celja so bili doslej izvedeni pilotni poizkusi različnih tehnik sanacije na manjših območjih. Na vrtnih tleh je bila

preizkušena tehnika odstranjevanja onesnažil s čiščenjem tal in dodajanjem zeolitov (naravni materiali, ki imajo sposobnost v sebi zadržati neko snov) v tla. Z imobilizacijsko tehniko je bilo predelano nekaj več kot 15 tisoč kubičnih metrov onesnaženih zemeljskih izkopov na območju stare Cinkarne (op. cit. Lobnik in sodelavci, 1989; Lobnik in sodelavci, 1994).

Glede na dejstvo, da so tla v Celju onesnažena s težkimi kovinami ter na do sedaj že uporabljene tehnike čiščenja tal je več kot očitno, da obstaja za uporabo fitoremediacije kot metode čiščenja tal v Celju še velik potencial.

## **2. OPREDELITEV RAZISKOVALNEGA PROBLEMA, CILJEV, RAZISKOVALNIH VPRAŠANJ IN HIPOTEZ**

Človek zaradi svojega delovanja spreminja okolje, v katerem živi. Za današnji čas je značilna rast števila prebivalcev, s čimer so se povečale tudi zahteve do okolja v obliki virov, ki jih izrabljamo in odpadkov, ki pri tem nastajajo. Nastali so ekološki problemi kot posledica človeške dejavnosti. Z dejavnostmi lahko v prst, podtalnico in drugod vnašajo tudi težke kovine, ki lahko s prehranjevanjem ali drugače pridejo v naše telo. Zanimalo nas je ali so znanstveniki razvili ekološko odstranjevanje težkih kovin iz prsti in kako bi lahko to znanje uporabili v Celju.

### **2.1 RAZISKOVALNI CILJI**

Želeli smo raziskati ekološke tehnike odstranjevanja težkih kovin iz okolja. Podrobneje smo želeli ugotoviti, kako uporabna je lahko fitoremediacija za Celjane.

### **2.2 RAZISKOVALNA VPRAŠANJA**

Zastavili smo si naslednja raziskovalna vprašanja:

- Kaj učenci vedo o fitoremediaciji?
- Kako bi lahko Celjani uporabljali fitoremediacijo?

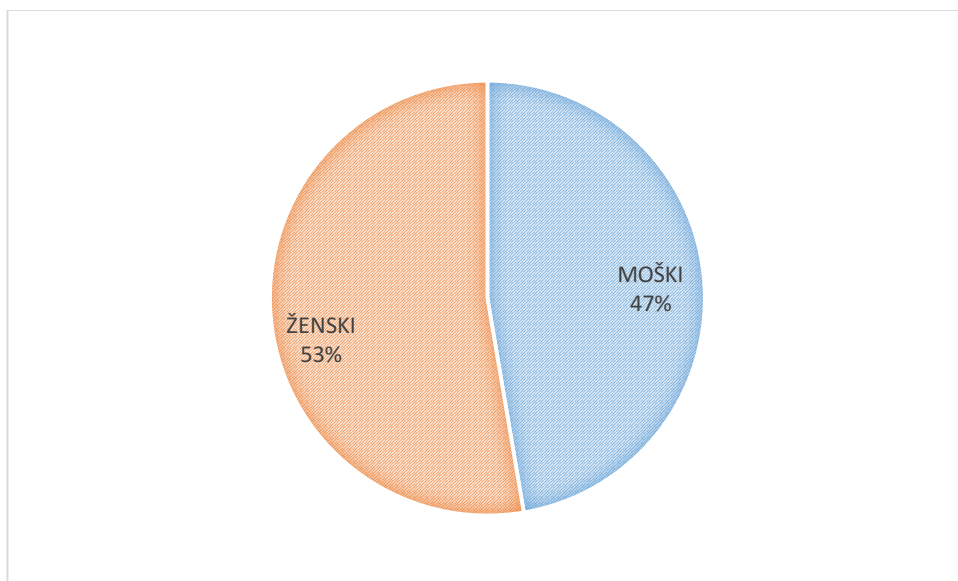
### **2.3 HIPOTEZE**

Iz raziskovalnih vprašanj smo postavili naslednje hipoteze:

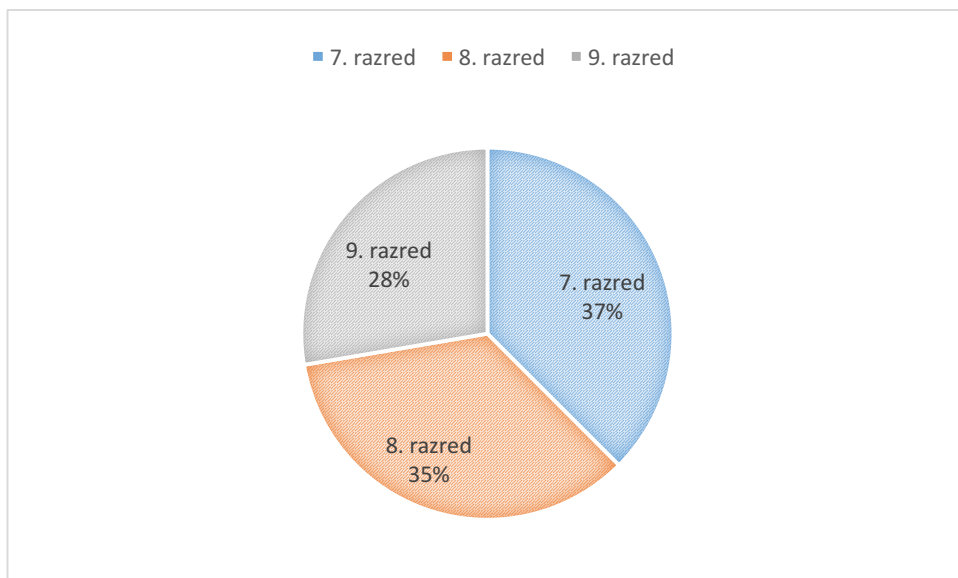
1. hipoteza: Učenci ne poznajo pojma fitoremediacija.
2. hipoteza: Učenci ne poznajo pomena fitoremediacije.
3. hipoteza: Učenci kot težko kovino najboljše poznajo cink.
4. hipoteza: Učenci poznajo vsaj eno dejavnost, ki onesnažuje tla.
5. hipoteza: Učenci vedo, da lahko svinec in cink v telo prideta s hrano.

## 2.4 IZBOR IN PREDSTAVITEV REZISKOVALNIH METOD TER POTEK RAZISKOVANJA

V prvem delu smo se posvetili podatkom, ki smo jo našli v knjigah, na internetu in v različnih člankih. Po pregledu virov in literature smo si zastavili raziskovalni problem in izpeljali raziskovalna vprašanja in hipoteze. Nato smo pripravili anketni vprašalnik. Anketo so izpolnjevali učenci naše šole. Anketirali smo 112 učenk in učencev. Zastopanost po spolu in razredih prikazujeta spodnja grafa.



Graf 1. Zastopanost po spolu.



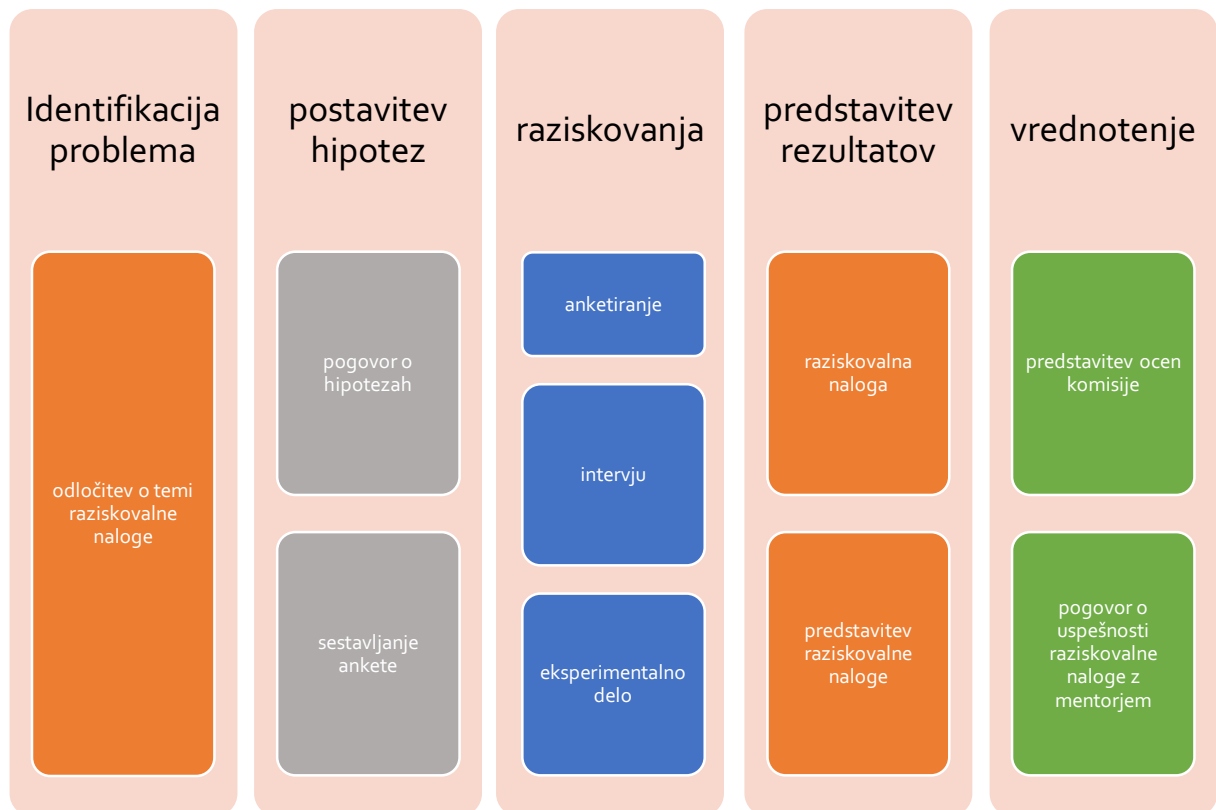
Graf 2. Zastopanost učencev po razredih.



Uporabljene tehnike kvantitativnega raziskovanja:

- anketni vprašalnik,
- pogovor s strokovnjaki,
- statistična obdelava podatkov.

Podatke smo obdelali s programom Microsoft Excel. V spodnji shemi lahko preberete faze raziskovanja.



Shema 2. Prikazuje metode dela.

### 3. PREDSTAVITEV REZULTATOV

V nadaljevanju bomo predstavili rezultate pridobljene na opisanem vzorcu. Vsako posamezno vprašanje je predstavljeno tudi z grafom.

#### 3.1 ANKETA

Vprašanja so bila različnega tipa (vprašanja odprtega in zaprtega tipa). V nadaljevanju so zapisana anketna vprašanja z navodili, nato pa so predstavljeni rezultati anketnega vprašalnika »Fitoremediacija za čistejše Celje«.

##### NAVODILO:

Pozdravljeni, sem Tjaša Erjavec, učenka 9. a razreda Osnovne šole Lava. Pod mentorstvom profesorja Bojana Pozniča pripravljam raziskovalno nalogo z naslovom »**Fitoremediacija za čistejše Celje**«. Prosim te, da si vzameš nekaj časa in iskreno odgovoriš na vprašanja. Prosim, odgovarjaj tako, kot si resnično misliš in ne tako, kot misliš, da želijo drugi. Za pomoč se ti vnaprej najlepše zahvaljujem.

##### SPLOŠNI PODATKI (obkroži):

Spol:           moški           ženski  
Razred:       7.       8.       9.

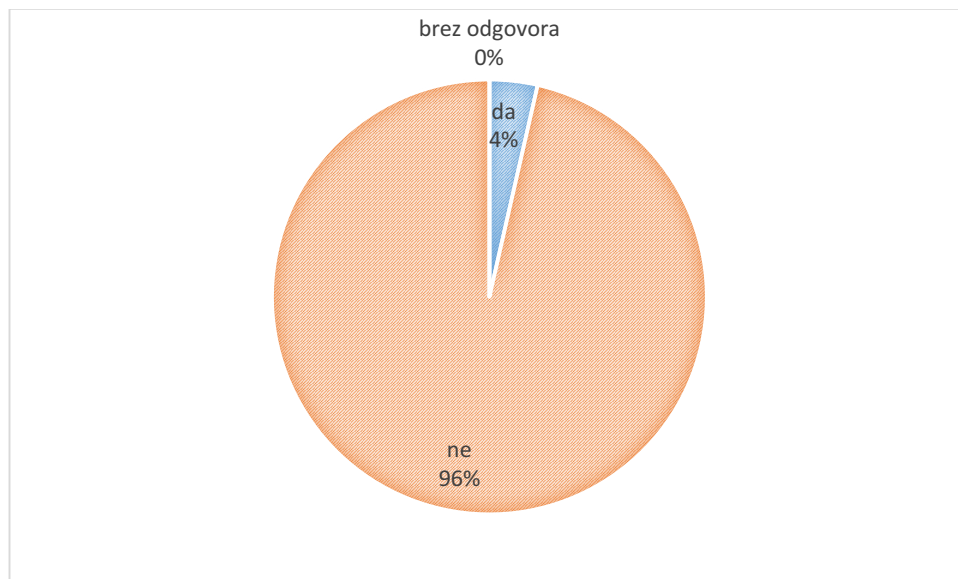
##### VPRAŠANJA:

1. Ali si že slišal / slišala za fitoremediacijo? Obkroži.  
  
A. da  
B. ne
2. Katere težke kovine, ki so škodljive za človeka, poznaš? Napiši njihova imena.
3. Človek s svojimi dejavnostmi onesnažuje tla. Naštej nekaj dejavnosti, ki onesnažujejo tla:
4. Onesnažena tla lahko vsebujejo kovine, kot sta cink in svinec. Ali kovine iz tal pridejo v rastline? Obkroži.  
  
A. da  
B. ne  
C. ne vem

5. Kako lahko človek v telo dobi cink in svinec? Obkroži.
- a. z rastlinsko hrano
  - b. z živalsko hrano
  - c. z vodo
  - d. z dihanjem
  - e. preko kože
  - f. človek ne more dobiti cinka in svinca v telo
  - g. drugo: \_\_\_\_\_
6. Ena izmed metod čiščenja onesnaženih tal s kovinami je fitoremediacija. Fitoremediacija je postopek, ki izkorišča rastline za čiščenje zemlje, ki je onesnažena z določenimi kovinami. Določene rastline vase vsrkavajo določene kovine in s tem se zaščitijo pred rastlinojedimi živalmi. Če te rastline posadimo, bodo vase vsrkale določene kovine. Nato te rastline požanjemo in jih odstranimo z vrta. Čez nekaj let imamo na vrtu v zemlji manj določenih kovin. Ali bi bil / bila pripravljen na vrtu gojiti rastline, ki odstranjujejo določene kovine iz zemlje?
- A. da
  - B. ne
7. Zakaj nekatere rastline »želijo« imeti visoke vsebnosti določenih kovin v svojih organih?
8. Ali so rastline, ki so sposobne kopičiti v organih določene kovine, pridobile kakšno evolucijsko prednost?
- A. da
  - B. ne
  - C. ne vem

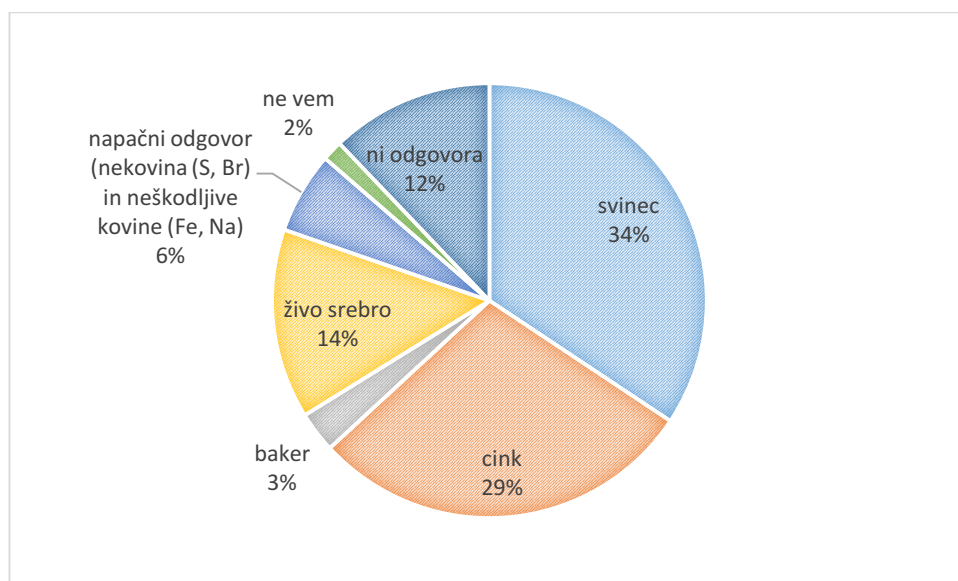
V nadaljevanju bodo predstavljeni rezultati anketnega vprašalnika.

S prvim vprašanjem smo učence spraševali, ali so že slišali za fitoremediacijo. Večina učencev (108 učencev; 96 %) meni, da še niso slišali za pojem. Ugotovitev je zanimiva, saj so osmošolci in devetošolci na šolski ekskurziji na Koroško spoznali fitoremediacijo kot tehniko sanacije zaradi delovanja rudnika cinka in svinca v Mežici. Učenci pojma na ekskurziji niso usvojili.



Graf 3. Odgovori učencev o tem, ali poznajo pojem fitoremediacija.

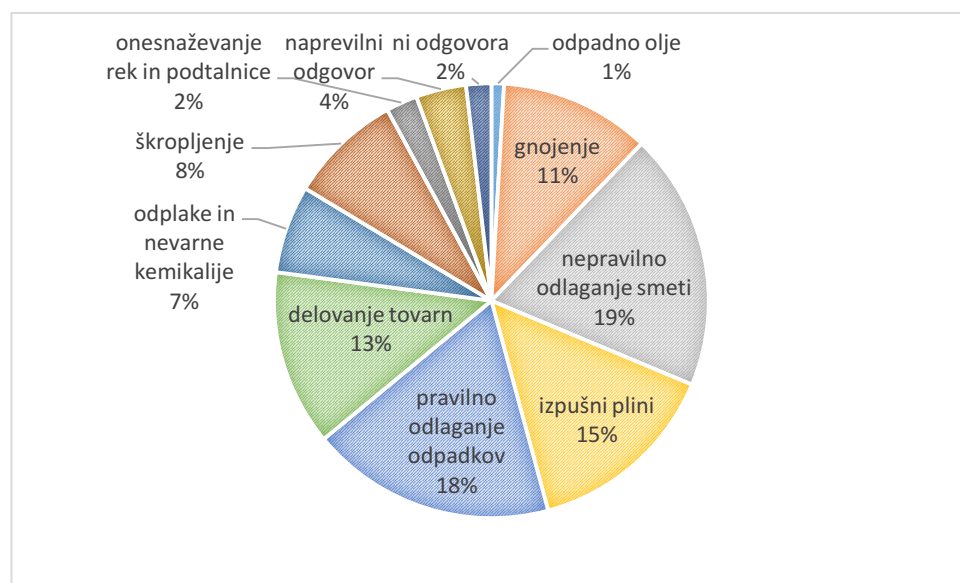
Zanimalo nas je, katere težke kovine, ki so škodljive za človeka, učenci poznajo. Učenci so lahko napisali več težkih kovin. Največ učencev pozna svinec, cink in živo srebro. Veliko učencev ne pozna nobene težke nekovine (2 %) oziroma na vprašanje ni odgovorilo (12 %).



Graf 4. Odgovori učencev o poznavanju težkih kovin.

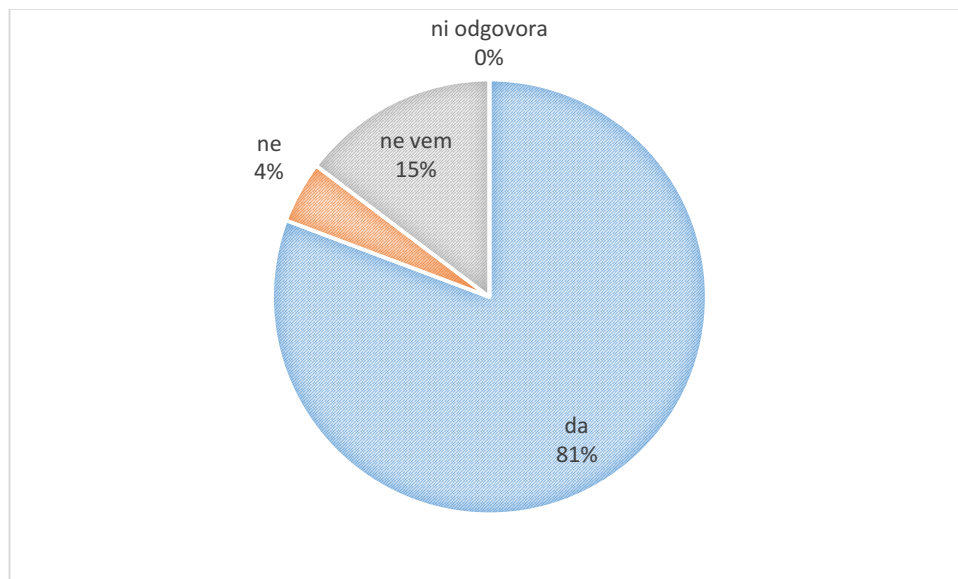
Človek s svojimi dejavnostmi onesnažuje tla. S tretjim vprašanjem smo želeli ugotoviti, katere dejavnosti, ki onesnažujejo tla, učenci poznajo. Učenci menijo, da onesnažujemo okolico s pravilnim (39 odgovorov; 18 %) ali nepravilnim (41 odgovorov; 19 %) odlaganjem odpadkov, z izpušnimi plini prevoznih sredstev (31 odgovorov; 15 %), z delovanjem tovarn (28 odgovorov; 13 %), s škropljenjem (18 odgovorov; 8 %). Ostale pravilne odgovore prikazuje

spodnji graf. Učenci so navedli tudi nepravilne odgovore (na primer organski odpadki, kisli dež, železo, sol). Kisli dež je posledica onesnaževanja. Soljenje cest je okolju nevarno v primeru, da uporabimo neprimerne soli. Veliko učencev je mnenja, da gnojenje (24 odgovorov; 11 %) onesnažuje okolje. Kadar gnojimo tako, da predhodno ne opravimo analize prsti ali gnojila odtekajo v podtalnico, s tem spreminjamo okolico. S pravilnim gnojenjem je lahko vpliv na okolje majhen. Skoraj vsi anketiranci poznajo vsaj eno dejavnost, s katero ljudje onesnažujemo tla.



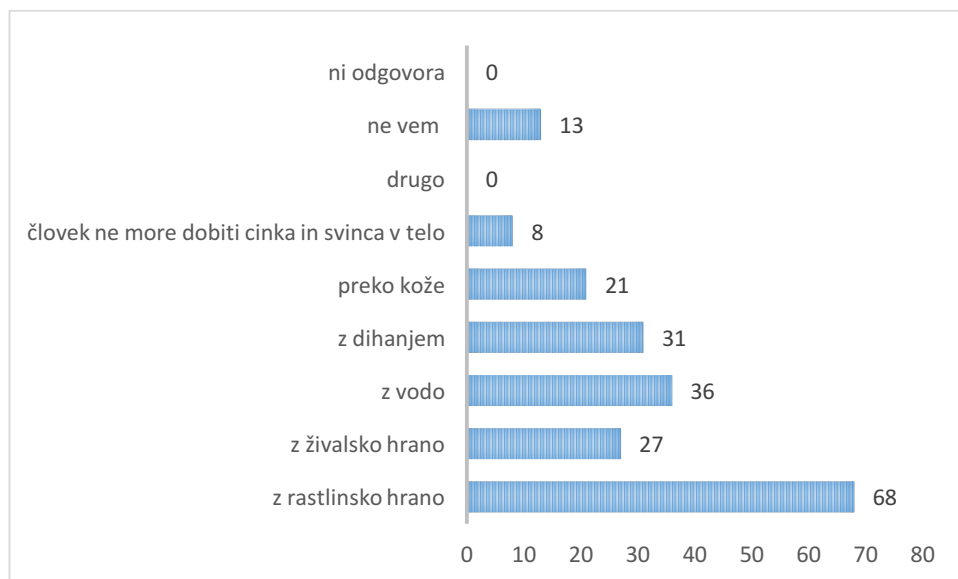
Graf 5. Mnenja učencev o dejavnostih, ki onesnažujejo okolje.

Onesnažena tla lahko vsebujejo kovine, kot sta cink in svinec. S četrtem vprašanjem smo spraševali učence ali menijo, da kovine iz tal pridejo v rastline. Večina učencev (88 učencev; 81 %) ve, da lahko težke kovine iz tal pridjo v rastline. Ostale odgovore prikazuje spodnji graf.



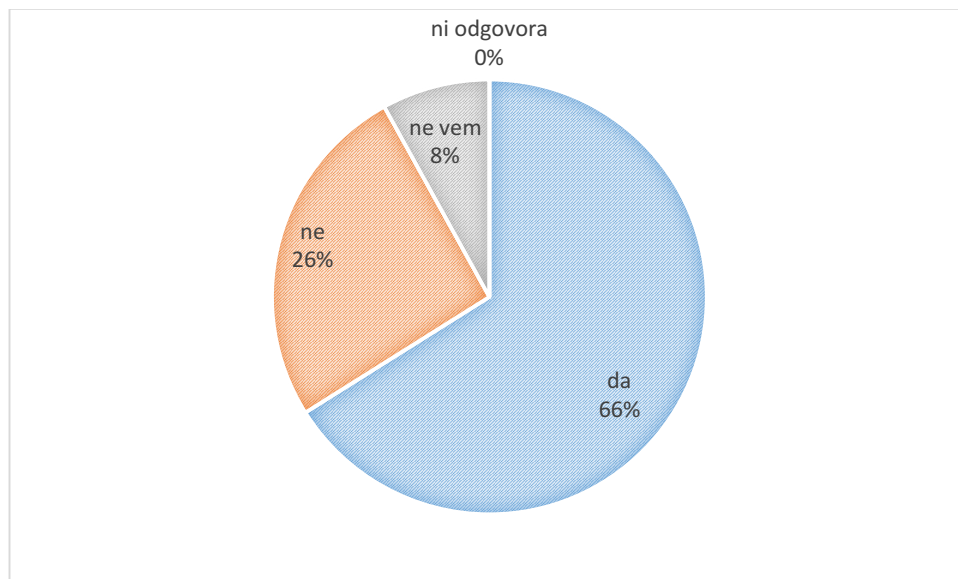
Graf 6. Odgovori učencev o tem, ali lahko težke kovine iz tal pridejo v rastline.

Zanimalo nas je, ali učenci vedo, kako lahko človek v telo dobi cink in svinec. Največ učencev je mnenja, da z rastlinsko hrano ali vodo. Ostale odgovore prikazuje spodnji graf.



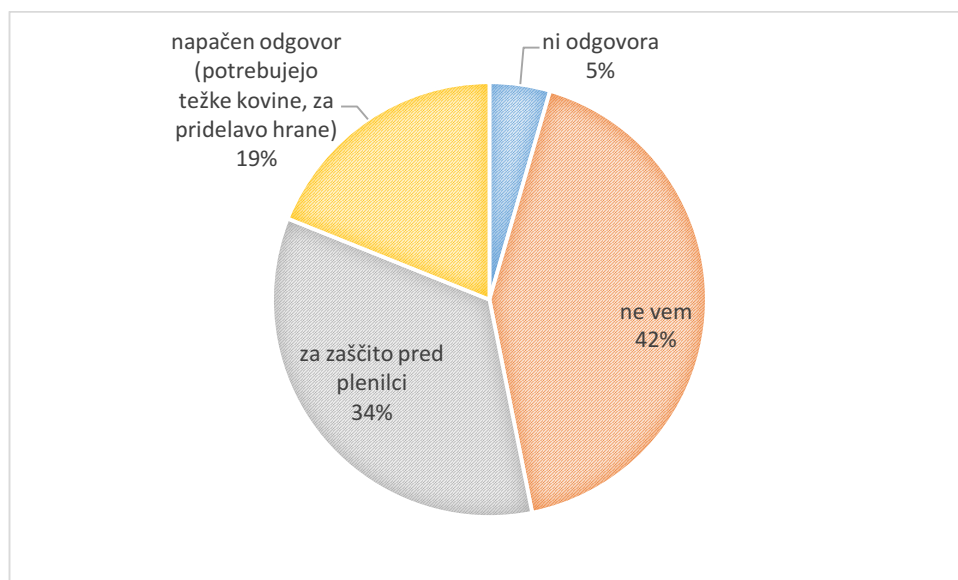
Graf 7. Mnenja učencev, kako lahko cink in svinec prideta v telo.

Ena izmed metod čiščenja onesnaženih tal s kovinami je fitoremediacija. S šestim vprašanjem nas je zanimalo, ali bi učenci bili pripravljeni na vrtu gojiti rastline, ki odstranjujejo določene kovine iz zemlje. Večina učencev (74 učencev; 66 %) meni, da bi bili pripravljeni uporabiti fitoremediacijo za odstranjevanje težkih kovin z vrta. Ostale odgovore prikazuje spodnji graf.



Graf 8. Mnenja učencev o tem, ali bi uporabljali fitoremediacijo na vrtu.

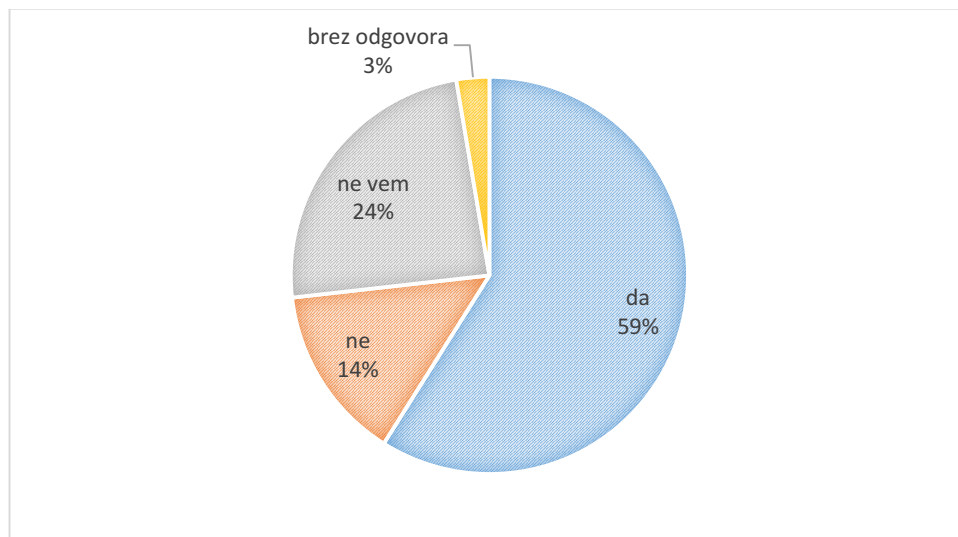
S sedmim vprašanjem smo želeli izvedeti mnenje učencev o tem, zakaj nekatere rastline »želijo« imeti visoke vsebnosti določenih kovin v svojih organih. Učenci so odgovorili, da bi preživele, za zaščito, da lažje živijo, za zaščito pred živalmi (34 %), nekateri so odgovorili napačno (19 %) saj menijo, da bolje delujejo, ali ker jim ne škodi. Pogosto so napisali, da ne vedo (42 %).



Graf 9. Odgovori učencev o tem, zakaj nekatere rastline želijo imeti visoke vsebnosti določenih težkih kovin v svojih organih.

Z zadnjim vprašanjem smo učence spraševali, ali so rastline, ki so sposobne kopičiti v organih določene kovine, pridobile kakšno evolucijsko prednost. Več kot polovica učencev (66

učencev; 59 %) meni, da so rastline s tem pridobile pomembno prednost, da preživijo. Ostale odgovore prikazuje spodnji graf.



Graf 10. Odgovori učencev na vprašanje, ali so rastline, ki so sposobne kopičiti v organih določene kovine, pridobile kakšno evolucijsko prednost.

### 3.2 Pogovor s strokovnjakinjo

Intervju smo opravili z Bernardo Podgoršek Kovač, vodjo službe za varstvo okolja Metalurško-kemične industrije Celje - Cinkarne Celje.

- Katere glavne dejavnosti razvijate v Cinkarni Celje?

Cinkarna Celje je podjetje s 142-letno tradicijo delovanja. Podjetje še danes predstavlja močan steber gospodarstva v Celju. Nekoč je bilo pretežno metalurško podjetje, medtem ko je danes kemično predelovalno podjetje katerega nosilna proizvodnja je proizvodnja titanovega dioksida.

Stanje tehnike, premalo znanja in zavedanja o posledicah delovanja različnih metalurških in kemičnih obratov je današnjemu podjetju pustilo precej bremen. Hkrati pa je ponudilo tudi izziv za zagotovitev okoljsko skladnega današnjega obratovanja.

Na področju odprave starih bremen izvajamo tri projekte:

1. Sanacija odlagališča nenevarnih odpadkov Bukovžlak (ONOB). Dela se bodo začela predvidoma spomladi 2016.



2. Zapolnjevanje in rekultivacija odlagališča sadre Za Travnik. Izvajanje je v teku že od leta 2008.

3. Definiranje tveganj za zdravje ljudi in okolje glede na odkrita stara bremena na lokaciji aktualne proizvodnje. Projekt vodi nemško podjetje CDM Smith, sodelujejo pa Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano ter drugi podizvajalci. V primeru potrjenih tveganj bo pripravljen predlog sanacije z oceno stroškov.

Na področju razvoja novih izdelkov, ki so prijazni okolju, razvijamo ultrafine oblike titanovega dioksida. Ta se uporablja kot fotokatalizator za čiščenje NO<sub>x</sub> (dušikovih oksidov) in drugih plinov iz zraka, za čiščenje odpadnih voda, proizvodnjo past za fotovoltaične celice ipd. Uporablja pa se tudi kot UV absorber za zaščito premazov, plastike, naše kože idr. proti razpadanju oziroma poškodbam. Postopek za proizvodnjo ultrafinega titanovega dioksida je razvit in poteka v mokri obliki, kar preprečuje možnost prašenja finih delcev tako v delovno kot v zunanje okolje.

- Kako poteka varovanje okolja pred težkimi kovinami v vašem podjetju?

Varovanje in skrb za okolje sta med najpomembnejšimi vodili našega dela in predstavljata sestavni del dolgoročne strategije družbe Cinkarne Celje, d.d.. To pomeni, da imamo v svoje poslovanje integrirano varovanje okolja tako z upoštevanjem zahtev standarda za okolje (ISO 14001 in uredbe EMAS) kot tudi preko drugih prostovoljnih zavez (npr. sodelovanje v Združenju za kemično in gumarsko industrijo pri Gospodarski zbornici Slovenije (GZS) - Program o odgovornem ravnanju (Responsible Care). To pomeni, da je skrb za okolje in med drugim tudi varovanje okolja pred težkimi kovinami naravnana tako, da:

- razvijamo okolju prijaznejše proizvode,
- skrbimo za boljšo izrabo surovin, zamenjavo surovin z manj nevarnimi in vključevanjem varstva okolja, in varnosti in zdravja v celoten proizvodni proces,
- manjšamo energetske izgube,
- vodimo proizvodnjo na varnejši in bolj odgovoren način,
- sprotno vpeljujemo najboljše razpoložljive tehnike proizvodenj in čiščenja,
- nenehno skrbimo za komunikacijo z zaposlenimi in zainteresirano javnostjo.

- Kje vse se lahko uporablja cink v pozitivne namene?

Cink je element, ki je potreben seveda v določenih količinah za razvoj organizma, prav tako je zelo široko uporaben za druge namene in za izdelke, ki jih uporabljamo v vsakdanji rabi.

Cinkarna ima v predelavi cinka in izdelavi pločevine stoletno tradicijo. Proizvajamo različne proizvode kot npr. titancinkovo pločevino, cinkovo žico, cinkove zlitine in cinkove anode. Pri tem uporabljamo čisti cink in legirne elemente, ki jih s postopki taljenja, ulivanja in valjanja spremenimo v prej naštete izdelke. Gre za postopke, ki so bistveno drugačni od postopkov predelave cinka v preteklosti in z rednimi monitoringi emisij snovi zagotavljamo, da so le te pod dovoljenimi ravnmi emisij, ki jih določa zakonodaja.

- Ena izmed metod čiščenja onesnaženih tal s kovinami je fitoremediacija. Fitoremediacija je postopek, ki izkorišča rastline za čiščenje zemlje, ki je onesnažena z določenimi kovinami. Določene rastline vase vsrkavajo določene kovine. Nato te rastline požanjemo in jih odstranimo iz vrta. Čez nekaj let imamo na vrtu v zemlji manj določenih kovin. Kakšno je vaše mnenje o tovrstnem saniranju okolja?

Vsekakor je ena od možnih metod za čiščenja onesnaženih tal.

- Ali menite, da bi lahko fitoremediacijo uporabljali v Celju?

Verjetno bi lahko v omejenem obsegu.

- Ali menite, da bi bili Celjani pripravljeni na vrtu gojiti rastline, ki odstranjujejo določene kovine iz zemlje?

Verjetno ne vsi, nekateri pa zagotovo. Vse to je precej odvisno od tega, kako bi bil projekt zastavljen in predstavljen javnosti.

#### 4. SKLEP

Človek zaradi svojega delovanja spreminja okolje, v katerem živi. Z dejavnostmi lahko v prst, podtalnico in drugam vnaša težke kovine, ki lahko s prehranjevanjem ali drugače pridejo v naše telo. Zanimalo nas je, ali so znanstveniki razvili ekološko odstranjevanje težkih kovin iz prsti in kako bi lahko to znanje uporabili v Celju. Zanimalo nas je, kako dobro učenci poznajo fitoremediacijo in kakšno je njihovo mnenje.

S prvo hipotezo smo predvidevali, da učenci ne poznajo pojma fitoremediacija. Učenci v osmem razredu spoznajo fitoremediacijo v okviru ekskurzije na Koroško, kjer si ogledajo muzej cinka in svinca v Mežici. Predvidevali smo, da učenci niso osvojili pridobljenega znanja, ali pa si pojma, ki ga dnevno ne uporabljamo niso zapomnili. Hipotezo lahko potrdimo, saj je 96 % učencev dogovorilo, da pojma ne poznajo.

Z drugo hipotezo smo predvidevali, da učenci ne poznajo pomena fitoremediacije. Hipotezo lahko potrdimo, saj je le 34 % učencev vedelo, da želijo imeti rastline visoke vsebine določenih kovin saj se takoj zavarujejo pred rastlinojedimi živalmi.

S tretjo hipotezo smo predvidevali, da učenci kot težko kovino najboljše poznajo cink. Tako smo menili zaradi bližine tovarne Cinkarne v Celju. Hipotezo lahko ovržemo, saj je največ učencev (34 %) odgovorilo, da poznajo svinec. Kljub temu pa tretjina (29 %) učencev pozna cink.

S četrto hipotezo smo predvidevali, da učenci poznajo vsaj eno dejavnost, ki onesnažuje tla. Hipotezo lahko potrdimo, saj smo iz ankete ugotovili, da skoraj vsi anketiranci poznajo vsaj eno dejavnost, naši rezultati pa so pokazali, da je bilo le 4 % nepravilnih odgovorov ter pa 2 % brez odgovora.

S peto hipotezo smo predvidevali, da učenci vedo, da lahko svinec in cink v telo prideta s hrano. Hipotezo lahko potrdimo, saj največ učencev meni, da cink in svinec prideta v telo s hrano ali vodo.

V raziskovalni nalogi smo podrobneje prikazali fitoremediacijo kot eno izmed bioremediacijskih metod odstranjevanja težkih kovin iz zemlje. Z rezultati raziskovalne naloge smo dobili vpogled v znanje učencev o fitoremediaciji. Ugotovili smo, da se večina učencev naše šole zaveda problema onesnaženosti tal s težkimi kovinami, predvsem s svincem, cinkom in bakrom, kot tudi načinov in škodljivosti onesnaževanja na človekovo zdravje.

Ugotovili smo, da je fitoremediacija kot ena izmed bioremediacijskih metod sanacije onesnaženih tal s težkimi kovinami med učenci praktično nepoznana metoda. Kljub temu, da bi bila večina učencev pripravljena uporabiti rastline, ki odstranjujejo določene kovine iz zemlje na svojem vrtu.

Tla v Mestni občini Celje so onesnažena s težkimi kovinami. Pri vlaganju naporov za sanacijo tal so bile uporabljene določene metode s čiščenjem tal in dodajanjem zeolitov v tla ter imobilizacijska tehnika. Ker je uporaba rastlin za čiščenje tal od težkih kovin cenejša metoda v primerjavi s fizikalno kemijskimi in inženirskimi tehnikami, pa je za očiščenje tal potrebno daljše časovno obdobje. Zato menimo, da je ta tehnika primerna za Celje kot dopolnilna na območjih, kjer zahteve po takojšnjih rezultatih niso izrazito prisotne ali potrebne.

V prihodnji raziskavi bi zasnovali tudi eksperimentalno delo, v katerem bi določene rastline uporabili za fitoremediacijo in opazovali njihov razvoj in učinkovitost metode.

## 5. LITERATURA

Nešić, N. (2011). Fitoremediacija i biljke pogodne za fitoremediaciju voda zagađenih teškim metalima. Beograd: Institut za multidisciplinarna istraživanja. Citirano 21.2.2016. Dostopno na svetovnem spletu: <[www.chem.bg.ac.rs/](http://www.chem.bg.ac.rs/)>.

Vovk Korže, A. in Janškovec, K. (2007). Čiščenje prsti s pomočjo rastlin, Citirano 21.2.2016. Dostopno na svetovne spletu: <COBISS 1.04 strokovni članek>.

Rozman, R. (2008). Fitoremedeiacija sedimentov in drugih kontaminiranih zemljin. Ljubljana, Biotehniška fakulteta.

Zapušek, K. (2003). Okoljska politika Slovenije. Ljubljana, Fakulteta za družbene vede.

Sajovic, A. (1980). Ekoremediacije, Maribor, Biotehniška Šola Maribor.

Marić, J. M. (2014). Mogučnost koriščenja nekih divljih i kultivisanih biljaka za remediaciju zemljišta, doktorska disertacija. Bor, Tehnički fakultet u Boru.

Romih, N., Grabner, B., Ribarič Lasnik, C. (2016). Remediacija onesnaženih tal s težkimi kovinami. Institut za okolje in prostor. Citirano 21.2.2016. Dostopno na svetovnem spletu: <[http://arhiv.kis.si/datoteke/file/kis/SLO/MEH/Biomasa/PRIROCNIK\\_IOP-1.pdf](http://arhiv.kis.si/datoteke/file/kis/SLO/MEH/Biomasa/PRIROCNIK_IOP-1.pdf)>.

Mestni časopis Celje (2016). Obremenjenost tal na območju Celja. (povzeto po Lobnik in sodelavci, 1989, Lobnik in sodelavci, 1994). Citiranano 4.3.2016. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://www.celje.si/sl>>.

## SHEME, SLIKE IN FOTOGRAFIJE

URL naslovi uporabljenih fotografij. Citirano 21. 2. 2016. Dostopne na svetovnem spletu:

- [indflower.info/sl/flowering-shrubs-and-trees/tulip-tree-yellow-poplar-tulip-magnolia-whitewood-132](http://indflower.info/sl/flowering-shrubs-and-trees/tulip-tree-yellow-poplar-tulip-magnolia-whitewood-132)

- [https://en.wikipedia.org/wiki/Cynodon\\_dactylon](https://en.wikipedia.org/wiki/Cynodon_dactylon)
- <https://en.wikipedia.org/wiki/Sorghum>
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Lolium\\_perenne](https://en.wikipedia.org/wiki/Lolium_perenne)
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Hyparrhenia\\_hirta](https://en.wikipedia.org/wiki/Hyparrhenia_hirta)
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Festuca\\_rubra](https://en.wikipedia.org/wiki/Festuca_rubra)
- [http://www.lookfordiagnosis.com/mesh\\_info.php?term=Agrostis&lang=1](http://www.lookfordiagnosis.com/mesh_info.php?term=Agrostis&lang=1)
- <http://homemadewilderness.com/2010/05/22/alyssum-planted-to-extract-nickel-now-invades-oregon-valley/>
- <http://www.freenatureimages.eu/plants/Flora%20C/Cardaminopsis%20halleri/index.html>
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Thlaspi\\_caerulescens](https://en.wikipedia.org/wiki/Thlaspi_caerulescens)