

Mogućnosti eksploatacije cinka uz pomoć biljaka

Beber, Josip

Undergraduate thesis / Završni rad

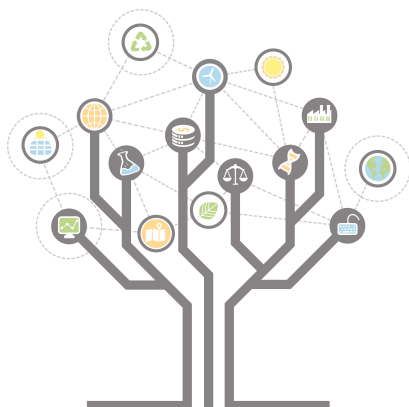
2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:130:876821>

Rights / Prava: [Attribution-NonCommercial-NoDerivs 3.0 Unported](#) / [Imenovanje-Nekomercijalno-Bez prerada 3.0](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-19**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations](#)



Mogućnosti eksploatacije cinka uz pomoć biljaka

Beber, Josip

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:130:876821>

Rights / Prava: [Attribution-NonCommercial-NoDerivs 3.0 Unported](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2020-11-09**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Geotechnical Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

JOSIP BEBER

MOGUĆNOSTI EKSPLOATACIJE CINKA UZ POMOĆ BILJAKA

ZAVRŠNI RAD

VARAŽDIN, 2016.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

MOGUĆNOSTI EKSPLOATACIJE CINKA UZ POMOĆ BILJAKA

KANDIDAT:
JOSIP BEBER

MENTOR:
Doc.dr.sc. ALEKSANDRA ANIĆ VUČINIĆ

VARAŽDIN, 2016.

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom

Mogućnosti eksploatacije cinka uz pomoć biljaka

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom doc.dr.sc. Aleksandre Anić Vučinić.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, _____

Josip Beber

(Ime i prezime)

(Vlastoručni potpis)

SAŽETAK

Ime i prezime: Josip Beber

Naslov rada: MOGUĆNOSTI EKSPLOATACIJE CINKA UZ POMOĆ BILJAKA

Rastom broja stanovništva raste i potreba za eksploatacijom metala pri čemu se narušava okoliš. Zahvati koji se vrše pri dobivanju metala ostavljaju trag na prirodi i čovjeku u obliku onečišćenih zemljišta, voda i zraka. Dolazi do potrebe za novim tehnologijama koje otvaraju vrata održivom razvoju i racionalnom korištenju prirodnih resursa. Jedna od tih tehnika je fitoremedijacija uz pomoć biljaka. Primarni fitoremedijacije je smanjiti ukupnu biopristupačnost pojedinog onečišćivala biljkama ili životinjama.

U ovom radu, od navedene četiri metode fitoremedijacije, pažnja je posvećena eksploataciji cinka metodom fitoekstrakcije jer je ona ekonomski najisplativija obzirom da se cink pohranjuje u nadzemnom dijelu biljke koji se ubire, dok korijen ostaje u zemlji te je na taj način omogućen ponovni rast nove biljke.

Ključne riječi: onečišćenje, cink, fitoremedijacija, fitoekstrakcija, biljke hiperakumulatori

Sadržaj

1. UVOD	1
2. OPĆI DIO	2
2.1. Općenito o cinku (Zn)	2
2.1.1. Proizvodnja cinka	5
2.1.2. Korištenje cinka u industriji	8
2.1.3. Nalazišta cinka u prirodi	10
2.1.4. Utjecaj cinka na okoliš i zdravlje ljudi	11
3. FITOREMEDIJACIJA	16
3.1. Podjela metoda fitoremedijacije	17
3.2. Fitoekstrakcija	18
3.3. Biljke pogodne za fitoremedijaciju cinka	19
3.4. Prednosti i nedostaci fitoremedijacije	22
3.5. Metode za poboljšanje fitoremedijacije	24
4. FITORUDARENJE	26
5. ZAKLJUČAK	27
6. LITERATURA	28

Zahvala

Zahvaljujem se roditeljima, braći, ostatku obitelji, cimerima, prijateljima i kolegama na ukazanom strpljenju i potpori tokom studija. Drago mi je što sam imao priliku surađivati s profesorima i ostalim članovima Fakulteta.

1. UVOD

Moderna civilizacija sa sobom nosi nove izazove poput industrijalizacije, porasta broja stanovnika, urbanizacije, promjena u okolišu izazvanih onečišćenjem. Eksploatacija metala i njihovo korištenje ostavlja u okolišu povišene koncentracije metala koje štetno djeluju na cjelokupni ekosustav pojedinog područja. Ta područja su kasnije nepovoljna za život, uzgoj životinja ili biljaka. Porastom broja tih zemljišta smanjuje se kvaliteta okoliša i obradivih plodnih površina što zahtijeva nove poglede u dugoročnom održivom razvitku. Jedan od načina vraćanja kvalitete tla i smanjenja opterećenosti tla metalima je tehnika fitoremedijacije.

Riječ fitoremedijacija dolazi od grčkog prefiksa „phyto“ što znači biljka i latinskog sufiksa „remedium“ što znači očistiti ili vratiti. To je ekonomski, tehnološki, ekološki prihvatljiva i estetski važna tehnika za uklanjanje teških metala iz kontaminiranih zemljišta. Fitoremedijacija se može koristiti za neorganske i organske onečišćivače prisutne u tlu, zraku i vodi. U ovom završnom radu dan je pregled znanstvene literature o mogućnostima eksploatacije cinka uz pomoć biljaka.

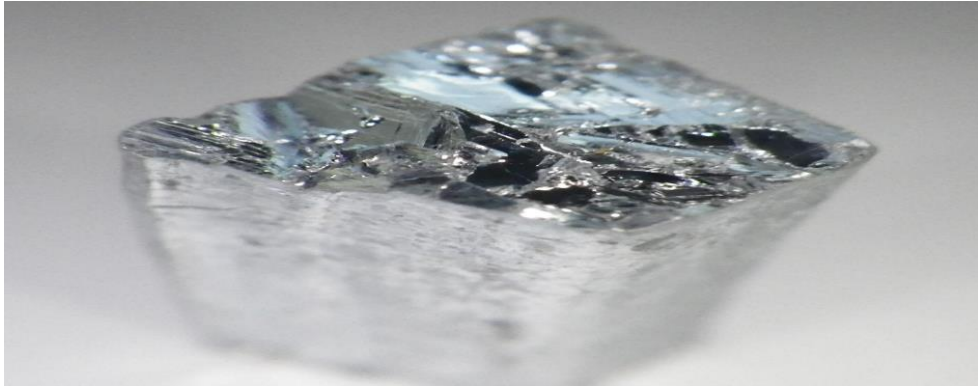
2. OPĆI DIO

2.1. Općenito o cinku (Zn)

Cink i njegovi oksidi koristili su se stoljećima u izradi mesinga za liječenje rana. Cink je prepoznat kao metal u Indiji 1374. godine. Prvi podatci o dobivanju cinka datiraju iz 5. stoljeća prije Krista. Poznato je, da se cink u Starom vijeku uvezio iz Kine i Indije. Velika potražnja i proizvodnja počinje u 19. stoljeću, zahvaljujući svojstvima ovog metala i usavršavanju procesa dobivanja. [1,2]

Istraživanja su pokazala kako su svojstva cinka trajnost te mogućnost recikliranja koja ga čine poželjnim metalom u transportu, infrastrukturi i preradi hrane. Cink je trenutno četvrti najkorišteniji metal na svijetu, nakon željeza, aluminijske i bakra. [1,3]

Ime mu dolazi od njemačke riječi *zinke* što znači zubac zbog pojavljivanja cinkovog karbonata u rudama zupčastog oblika (slika 1.). To je plavkasto-bijeli metal koji je na sobnim temperaturama krh, ali postaje kovak kada se zagrije na temperaturu od 100 - 150 °C. Otapa se u lužinama i kiselinama, a na zraku je stabilan jer na površini nastane sloj oksida koji ga štiti od daljnje korozije. Gori na zraku kada se zagrije do crvenog žara, a burno reagira s oksidansima. Cinka u Zemljinoj kori ima oko sto puta više nego bakra. Cijena zrna cinka čistoće 99,99 % iznosi 39,60 € za 500 g. [4]



Slika 1. Slomljena pločica čistog cinka [5]

Cink je mineral koji se u organizmu nalazi u jako malim količinama. Bez obzira na to, jako je bitan za normalnu funkciju organizma i njegov nedostatak može izazvati brojne posljedice. Većina cinka nalazi se u mozgu, mišićima, kostima, bubrezima, jetri, prostati i oku. Tijelu je cink potreban za održavanje imuniteta, proizvodnju proteina i DNK, osjećaj mirisa i okusa, zacjeljivanje rana. Najbogatiji izvori cinka u hrani, na 100 grama proizvoda, su kamenice (90,8 mg), teleća jetrica (11,2 mg), sjemenke bundeve (10,3 mg), sjemenke sezama (7,2 mg), junetina (4,9 mg), pileća jetrica (4,0 mg), bademi (3,5 mg), kikiriki (3,3 mg), svinjetina (2,4 mg), mliječna čokolada (2,3 mg), pileći batak (1,8 mg) i grašak (1,2 mg). [6] Slika 2. prikazuje hranu bogatu cinkom.



Slika 2. Hrana bogata cinkom [7]

Cink je element potreban za odgovarajući rast i razvitak ljudi, životinja, i biljaka. Ljudsko tijelo sadrži otprilike 2 do 3 grama cinka, što je potrebna količina za normalno funkcioniranje enzima, imunološkog sistema, osjeta mirisa, zarastanje rana i okus. [3]

Manjak cinka čest je problem u nerazvijenim zemljama i razlog je velike smrtnosti djece zbog oslabljenog imuniteta koji vodi do infekcija i proljeva. U razvijenim zemljama nedostatak cinka rijetka je pojava budući da je prehrana bogatija i raznovrsnija. Simptomi manjka cinka su: oslabljen imunitet, spor rast i spolno sazrijevanje kod djece, slab apetit, mentalni problemi, lezije na koži ili očima. [6]

Tablica 1. prikazuje dnevne potrebe cinka.

Tablica 1. Dnevne potrebe cinka [6]

Dob (godine)	Dnevne potrebe u miligramima (mg)
0-3	3
4-8	5
9-13	8
14-18	9
Odrasli muškarci	11
Odrasle žene	8
Trudnice	11
Dojilje	12

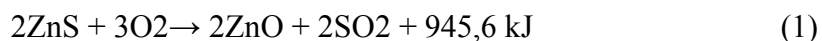
Odrasle osobe mogu uzimati i do 40 mg cinka bez negativnih posljedica, ali treba napomenuti kako dugotrajan i visok unos cinka smanjuje apsorpciju bakra i željeza [6].

2.1.1. Proizvodnja cinka

Kao sirovine za metalurško dobivanje cinka najčešće se koriste rude bogate sfaleritom i smitsonitom te industrijski cinkovi otpaci (cinkovi pepeli). Kako navedene cinkove rude obično imaju mali postotak cinka od 2 do 12 %, prije prerade se koncentriraju. Obogaćivanje rude vrši se flotacijom (kod sulfidne rude) ili reduksijsko-oksidijskim žarenjem Walzovim postupkom (oksidne rude i cinkovi pepeli). [8]

Pirometalurškim načinom dobiva se oko 37 % svjetske proizvodnje cinka, a proces se odvija u dvije faze. Prva faza je žarenje koje se dijeli na oksidijsko i sulfatizacijsko žarenje. [8]

a) oksidijsko žarenje koji se odvija prema jednadžbi:



b) sulfatizacijsko žarenje prema jednadžbama:



Kako je svrha žarenja koncentrata dobivanje cinkova oksida, nastali cinkov sulfat zagrijava se do 1000 °C kako bi došlo do njegova raspada i ponovnog nastajanja oksida.

Druga faza je redukcija. Redukcija žarene mase na metalni cink može se provesti bilo u mufolnim pećima za destilaciju, u jamastoj peći ili elektrotermičkim načinom. Redukcija se provodi uz prisutnost znatnog suviška ugljika pri temperaturi od 1200 do 1300 °C prema reakcijama:



Zbog visoke temperature u mufolama nastaju pare cinka koje se vrlo lako mogu ponovo oksidirati pa se mora spriječiti i najmanji pristup zraka. Kako to nije moguće postići, nakon hlađenja para cinka na 500 do 600°C i njihova prevođenja u tekući cink, mali dio kapljica metalnog cinka reagira s tragovima kisika i daje cinkov prah koji se taloži. [8]

Cinkov prah manje je vrijedan proizvod i pretaljivanjem se ne može prevesti u tekući cink. Njegovo nastajanje može se svesti na minimum dodavanjem malih količina kuhinjske soli (NaCl). Cink dobiven ovim postupkom nije čist jer sadržava do 4 % primjesa (olova, željeza i kadmija) pa ga treba pročistiti. [8]

Postoje tri metode rafinacije cinka. Najstarija metoda je pretaljivanje pri čemu se dobije 95-97 %-tni cink, zatim redestilacija u mufolnim pećima (dobije se 99,8 do 99,9 %-tni cink), a najnovija je metoda rektifikacija (frakcijske destilacije) u kolonama iz karborunduma (silicijevog karbida, SiC). [8]

Hidrometalurškim postupkom dobiva se 51 % svjetske proizvodnje cinka, a od pirometalurškog se razlikuje u drugom stupnju. Naime, nakon prevođenja rude u oksid, on se otapa u sumpornoj kiselini i podvrgava elektrolizi. [8]

Na katodi od aluminija izlučuje se elementarni cink, a na anodi od olova kisik. Ovim postupkom dobije se cink čistoće 99,99 %. Problem kod elektrolize je u tome što cink ima negativan standardni elektrodni potencijal pa će se prije njega izlučiti gotovo sve primjese. Da bi se to izbjeglo, potrebno je otopinu cinkova sulfata prije prevođenja u oksid dobro očistiti što bitno poskupljuje cijeli postupak. [8]

Studija pokazuje kako su najveći svjetski proizvođači rude cinka SAD, Kanada, Peru, Australija, koje zajedno sa zemljama bivšeg SSSR saveza čine oko 56 % ukupne svjetske proizvodnje. [2]

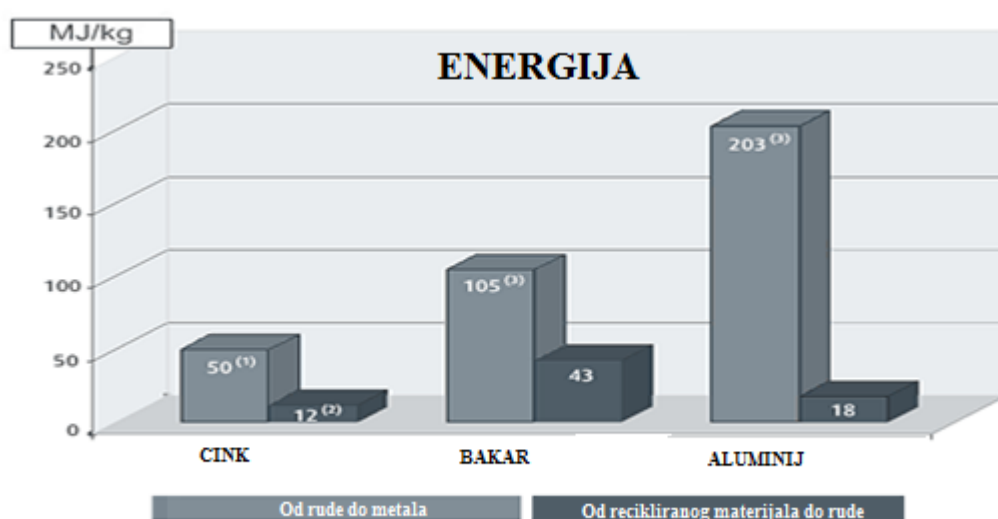
Potrošnja energije pri proizvodnji cinka je mala u usporedbi s drugim obojenim metalima (aluminijom, bakrom, nehrđajućim čelikom). Manje energije također se troši pri reciklaži upotrebljenog cinka, nego li iz rude. [9] Tablica 2. prikazuje količinu proizvedenog cinka u 2015. godini te zalihe.

Tablica 2. Proizvodnja i rezerve cinka u svijetu [11]

Države	Proizvodnja (2015) (1000 kg)	Rezerve (1000 kg)
SAD	850	11,000
Australija	1,560	63,000
Bolivija	449	4,600
Kanada	353	6,200
Kina	4,930	38,000
Indija	706	10,000
Irska	283	1,100
Kazastan	345	4,000
Meksiko	660	15,000
Peru	1,320	25,000
Ostale zemlje	1,860	26,000
Sveukupno	13,300	200,000

Slika 3. prikazuje potrošnju energije pri proizvodnji cinka, bakra i aluminija. Također prikazuje koliko energije se troši kod proizvodnje iz rude i reciklaže otpadnog materijala. Za kilogram cinka potrebno je 50 MJ energije, a kod reciklaže cinka 12 MJ energije.

U svijetu se danas otprilike 30 % cinka dobiva recikliranjem elektronskih sastavnica, automobila, ostataka pri galvanizaciji i sl. Razvijena industrijska proizvodnja znatno je reducirala emisije cinka iz svojih postrojenja također zbog poboljšane tehnologije proizvodnje. [9,10]



Slika 3. Potrošnja energije za proizvodnju i reciklažu pojedinih metala [9]

2.1.2. Korištenje cinka u industriji

Glavna namjena cinka je zaštita željeza i čelika od korozije. To se postiže umakanjem očišćenog željeza u talinu cinka. Cink štiti željezo i kad se obloga ošteti. Upotrebljava se za dobivanje različitih legura kao što je mjed (legura cinka i bakra) i kao anoda u galvanskim člancima (baterijama). [11]

Cink se troši u većoj količini i u automobilskoj industriji, kao punilo u industriji gume, u kemijskoj industriji i u proizvodnji medicinskih preparata. Cink služi kao lim u građevinarstvu i za izradu raznih posuda (kante, kablovi, kade), za krovne cijevi i ploče za pokrivanje zgrada, stvaranja legura i u industriji boja. [2]

Iako se mnogi drugi spojevi mogu koristiti kao zamjena za cink u kemijskom, elektronskom i zaštitnom smislu, u regijama gdje se grade važni infrastrukturni projekti potražnja za cinčanim proizvodima i dalje je velika. Značajan porast u svjetskoj proizvodnji i potrošnji cinka u posljednjih 35 godina reflektira potražnju u transportnim i prometnim sektorima poput karoserije automobila (slika 4.), pri gradnji autocesta te pocinčanih konstrukcija od željeza. [3]



Slika 4. Stavljanje karoserije automobila u galvansku kupku u Slovačkoj [12]

2.1.3. Nalazišta cinka u prirodi

Najznačajniji minerali cinka su: sfalerit sa 67,1 % Zn, hidrocinokit s 60 % Zn, hemimorfit sa 54 % Zn (slika 5.). Tablica 3. prikazuje rasprostranjenost cinka u prirodi. Među navedenim mineralima cinka, najveći značaj ima sfalerit. Sfalerit je sulfidni mineral i najčešće dolazi sa galenitom i piritom. [2] Slika 6. prikazuje prijevoz cinkove rude.

Tablica 3. Rasprostranjenost cinka u sastavnicama okoliša [11]

Rasprostranjenost elementa	
u atmosferi /ppm	-
u zemljinoj kori /ppm	80
u oceanima /ppm	0,01



Slika 5. Hemimorfit, hidrocinokit i sfalerit [13-15]



Slika 6. Prijevoz cinkove rude u australskom rudniku [16]

2.1.4. Utjecaj cinka na okoliš i zdravlje ljudi

Studija utjecaja cinka na okoliš počinje s dokumentiranjem potrebe za resursima te otpuštanjem emisija u okoliš za vrijeme miniranja i rafiniranja. Također, treba pokazati razumijevanje za utjecaj na okoliš i dugoročne koristi u produživanju životnog ciklusa proizvoda korištenjem cinka. Studija provedena od strane Internacionalnog udruženja za cink pokazala je kako je potrebno između 35.000 MJ i 76.000 MJ za proizvodnju jedne tone visokokvalitetnog cinka (tablica 4.). Emisije ugljičnog dioksida pri proizvodnji procjenjuju se na otprilike 3 tone na jednu tonu cinka te 9 kilograma sumpurnog dioksida na jednu tonu cinka. [1]

Tablica 4. Utjecaj na okoliš proizvodnje jedne tone cinka [1]

Utrošak energije za proizvodnju cinka	49.134 MJ
Neobnovljivi izvori energije	41.644 MJ
Obnovljivi izvori energije	7.489 MJ
Ugljični dioksid	3.041 kg
Sumporni dioksid	9,2 kg

Iako ljudi mogu unijeti prilično visoku koncentraciju cinka do 40 mg po danu, prevelika koncentracija cinka može uzrokovati zdravstvene probleme kao što su grčevi u želucu, iritacija kože, povraćanje, mučninu i anemiju. Visoka razina cinka također može oštetiti gušteraču, poremetiti metabolizam proteina i uzrokovati arteriosklerozu. Trajna izloženost cinkovom kloridu može uzrokovati respiratorne poremećaje. Trovanje cinkom može dovesti do metalne groznice koja ima za posljedicu nadražljivost sluznica gornjih dišnih putova, stanje koje je slično prehladi, a prolazi nakon dva dana. [17,18]

Svjetska proizvodnja cinka je u porastu, pri čemu cink sve više i više onečišćuje okoliš. Na tlima bogatim cinkom raste ograničeni broj biljaka koje imaju šansu za preživljavanje. Domaće životinje cink unose preko biljaka. Voda onečišćena cinkom dolazi od otpadnih voda iz industrijskih postrojenja u rijeke. Budući da je cink topiv u vodi potencijalno je onečišćenje podzemne vode. Nadalje, iz otpadnih voda taloži se mulj bogat cinkom na obale rijeka uz mogućnost porasta kiselosti vode. Slika 7. prikazuje ispuštanje cinka u Egejsko more blizu gradića Ierisso. Neke ribe akumuliraju cink u tijelu, nakon čega završavaju u hranidbenom lancu. [18]

Cink je ozbiljna prijetnja poljoprivrednoj proizvodnji, no usprkos tome koriste se umjetna gnojiva bogata cinkom pri čemu dolazi do dodatnog smanjenja bioraznolikosti, pada sposobnosti mikroorganizama i glista da razgrade organsku materiju. [18]



Slika 7. Izlijevanje otpadnih voda i mulja nastalih eksploatacijom olova i cinka u zaljev Ierisso, Grčka [19]

U slučaju kada je koncentracija cinka u tlu visoka, taloži se u korijenu biljke. Koncentracija cinka u suhoj tvari biljaka kreće se u prosjeku 15 do 150 mg/kg, najčešće 20 do 50 mg/kg. Kod većeg sadržaja fosfora u tlu akumuliranje cinka je smanjeno. Cink se ubraja u umjereno toksične metale. Njegova toksičnost za biljke manja je od toksičnosti bakra. Velike koncentracije cinka kod biljaka najčešće se javljaju na kiselim tresetnim zemljištima, na zemljištima koja su nastala iz matičnog supstrata bogatog cinkom, kao i u okolini rudnika i talionica cinka. [20]

Vidljivi simptomi viška ovog elementa se javljaju kada njegova koncentracija u suhoj tvari prelazi 300 mg/kg. Simptomi trovanja biljke cinkom su izraženi kao manja veličina lista, kloroza kod mladica, odumiranja vrha lista, zaostajanja u rastu cjelokupne biljke i / ili smanjenog rasta korijena. [20,21]

U Republici Hrvatskoj maksimalno dopuštena koncentracija cinka u poljoprivrednom tlu propisana je Pravilnikom o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja (NN 09/14) te ovisi o tipu tla (Tablica 5.). [22]

Tabela 5. Maksimalno dopuštena koncentracija cinka u tlu prema Pravilniku (NN 09/14) [22]

Vrsta tla	mg/kg
Pjeskovito tlo	0-60
Praškasto – ilovasto tlo	60-150
Glinasto tlo	150-200

Stupanj onečišćenja zemljišta teškim metalima i potencijalno onečišćujućim elementima izračunava se prema sljedećoj jednadžbi:

$$So(\%) = \frac{\text{ukupni sadržaj teških metala u zemljištu}}{\text{maksimalno dopuštena vrijednost}} \times 100 \quad (6)$$

Za interpretaciju onečišćenja koriste se sljedeći kriteriji [22]:

- čisto, neopterećeno zemljište do 25 %;
- zemljište povećane onečišćenosti 25 - 50 %;
- zemljište velike onečišćenosti 50 – 100 %;
- onečišćeno zemljište 100 – 200 %;
- zagađeno zemljište više od 200 %

Najčešći izvori onečišćenja tla teškim metalima su metalurška, metaloprerađivačka i elektronička industrija, rudarenje, postrojenja za obradu otpadnih voda, područja zahvaćena ratnim djelovanjima ili vojni poligoni, odlagališta otpada i poljoprivredna gnojiva. [23]

Najveći postotak ukupnog cinka u onečišćenim tlima i sedimentu povezan je sa željeznim i manganovim oksidom. Ionski promjer iona cinka (Zn^{2+}) sličan je promjeru iona Fe^{2+} i Mn^{2+} . Kiše ispiru cink iz tla zbog toga što su cinkovi spojevi vrlo topljivi. Kao i kod ostalih metala, apsorpcija cinka raste s reakcijom tla. Cink se u tlu nalazi na mjestima zamjene minerala gline i organske tvari ili adsorbiran na krutim česticama tla. Razina cinka u otopini tla je niska, što posebice vrijedi za tla visoke pH vrijednosti i uz prisustvo kalcijeva karbonata. Višak cinka rijedak je u prirodi i to samo na kiselim tlima i rudištima te na tlima ispod odlagališta mineralnog otpada. Antropogeni izvori cinka nalaze se u rudarstvu i kod topljenja rude, kod obrade metala, tekstila, mikroelektronika, odlagališta, pirometalurgije, kanalizacijskog mulja i pesticida. [10]

Tlo koje je pod direktnim utjecajem industrijskih emisija ima prosječni sadržaj cinka u rasponu od 20 do 135 mg/kg, dok kod jako onečišćenih područja, sadržaj može dostići do 80.000 mg/kg. [24]

Sadržaj cinka u tlu je od 10 do 30 mg/kg. Razina cinka u biljnom materijalu i potrebe biljaka za cinkom razmjerno su male. Mobilnost cinka u biljci nije visoka, već ga biljke apsorbiraju proporcionalno dostupnim količinama i ovisno o biljnoj vrsti. [10]

3. FITOREMEDIJACIJA

Riječ fitoremedijacija dolazi od grčkog prefiksa „phyto“ što znači biljka, i latinskog sufiksa „remedium“ što znači očistiti ili vratiti. Početna istraživanja vezana uz fitoremedijaciju dogodila su se između 1980-ih i 1990-ih. Počela se je provoditi fitoekstrakcija cinka i kadmija s pokusnog polja u svrhu obnove tla. [23, 25]

Prednosti tehnike fitoremedijacije su u njezinoj efektivnosti, jednostavnosti, održivosti, okolišnoj kompatibilnosti i činjenici da je estetski privlačnija nego li konvencionalne klasične tehnologije. [26] Slika 8. prikazuje zonu fitoremedijacije.



Slika 8. Aktivna fitoremedijacija [29]

Kako bi se poboljšala efikasnost fitoremedijacije, potrebno je razumjeti biologiju biljaka na molekularnoj razini. Osim biljaka, organizmi koji sudjeluju u fitoremedijaciji su biljkama pridruženi mikrobi te ponekad gljive. Znanstvenici smatraju da su simbiotski mikroorganizmi na korijenu biljke ključni za čišćenje tla, a ne biljke. [26,27]

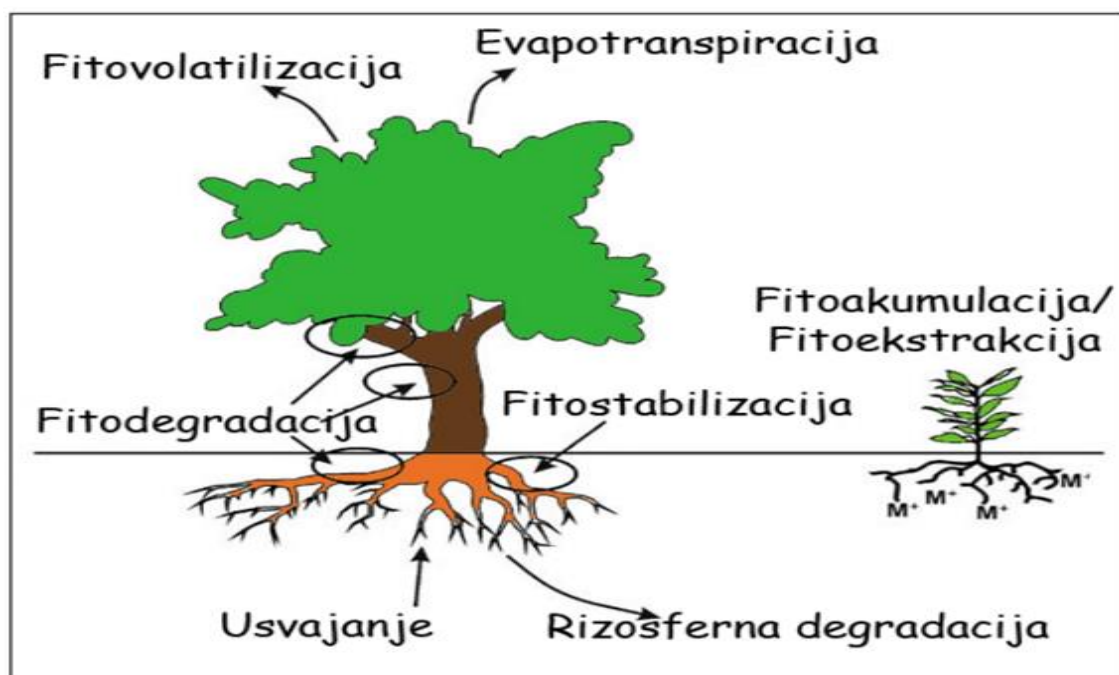
3.1. Podjela metoda fitoremedijacije

Ovisno o vrsti onečišćivala, mjestu onečišćenja, količini potrebnog pročišćavanja i tipu biljke, tehnologije fitoremedijacije mogu se koristiti za pohranjivanje (fitoimobilizacija i fitostabilizacija) ili uklanjanje (fitoekstrakcija i fitovolatilizacija) onečišćivala. [23] U tablici 6. prikazane su četiri metode koje imaju različit mehanizam obnavljanja onečišćenog tla.

Tablica 6. Metode fitoremedijacije [23]

Proces	Mehanizam	Onečišćivala
Fitofiltracija	Rizosferna akumulacija	Organski i anorganski
Fitostabilizacija	Stvaranje kompleksa	Anorganski
Fitoekstrakcija	Hiperakumulacija	Anorganski
Fitovolatilizacija	Volatilizacija lišćem	Organski i anorganski

Slika 9. prikazuje metode fitoremedijacije te pojedine dijelove biljke na koje se odnose.



Slika 9. Različite metode fitoremedijacije [29]

Fitostabilizacija je metoda u kojoj se biljkama stabilizira onečišćivalo na način da se korijenskim sustavom metal zadrži na lokaliziranom području. Fitofiltracija je metoda kojom se biljkama vrši pročišćavanje u vodenom okolišu. Fitovolatilizacija je metoda korištenja biljaka za ekstrakciju metala iz tla i oslobađanje u atmosferu u hlapivoj fazi. Fitoekstrakcija je metoda kod koje biljke absorbiraju metale iz tla te ih translociraju u izdanak gdje se metal pohranjuje do žetve. [23]

3.2. Fitoekstrakcija

Fitoekstrakcija je metoda kojom se onečišćujući metali iz tla korijenskim sustavom biljke prenose iz tla u biljku te se translociraju u površinske dijelove biljke. Neke biljke, koje se još nazivaju i hiperakumulatori, absorbiraju iznimno velike količine metala za razliku od ostalih biljaka. Prirodni hiperakumulatori metala su biljke koje mogu akumulirati i koje toleriraju velike koncentracije metala u izdanku bez primjetnih simptoma netolerancije. Hiperakumulatori imaju povišenu količinu metala u izdancima: 1 % cinka i mangana, 0,1 % nikla, kobalta, kroma, bakra, olova i aluminijsa, 0,01 % kadmija i selen te do 0,001 % žive u ukupnoj suhoj tvari biomase. [23]

Tablica 7. prikazuje učinak onečišćivala na biljku (normalan, fitotoksičan) i koncentracija metala.

Tablica 7. Učinak onečišćivala na biljku i koncentracija metala [23]

Status	Cd (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	Pb (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)
Normalan	0,005-2	3-30	0,5-10	10-150
Fitotoksičan	5-700	20-100	30-300	>100

Porodice hiperakumlatora su: glavočike (lat. *Asteraceae*), krstašice (lat. *Brassicaceae*), šlinčicolike (lat. *Caryophyllaceae*), šiljovke (lat. *Cyperaceae*), mahunarke (lat. *Fabaceae*), usnače (lat. *Lamiaceae*), trava (lat. *Poaceae*), viola (lat. *Violaceae*) i mlječiike (lat. *Euphorbiaceae*). [23]

Nakon uzgoja od nekoliko tjedana ili mjeseci biljke se beru, a postupak može se nekoliko puta ponavljati sve dok se razina onečišćenja ne dovede ispod granične vrijednosti ili se tlo posve ne obnovi. Vrijeme potrebno za remedijaciju ovisi o vrsti i količini onečišćenja tla teškim metalima, sezoni uzgoja biljaka te o efikasnosti uklanjanja metala. Uobičajeno vrijeme obnove kreće se između 1 i 20 godina. Tehnika je pogodna za remedijaciju velikih površina onečišćenog zemljišta na malim dubinama s niskim do umjerenim količinama onečišćenja. [23]

Dvije su osnovne strategije fitoekstrakcije: inducirajuća ekstrakcija i kontinuirana ekstrakcija. Ukoliko dostupnost metala nije adekvatna za uspješnu ekstrakciju biljkama, kelati ili acidifirajući agensi raspršuju se po tlu kako bi mobilizirali metale i povećali njihovu akumulaciju. [23]

3.3. Biljke pogodne za fitoremedijaciju cinka

Fitoremedijacijska biljna vrsta mora biti neinvazivna vrsta koju životinje ne vole jesti. Biljka se izabire prema njenoj sposobnosti izdvajanja toksina iz okoliša, prilagođenosti na lokalne klimatske prilike, veliku proizvodnju zelene mase, dubini do koje korijen prodire, kompatibilnosti s vrstom tla koje će se sanirati, brzini rasta, jednostavnosti sadnje i održavanja te sposobnosti upijanja velikih količina vode. Znanstvenici se slažu kako su biljke stablašice efikasnije od zeljastih biljaka u tretiranju onečišćenja dubljih slojeva tla. [24]

Poljski istraživači ukazuju na mogućnost remedijacije cinka uz pomoć breze (slika 10.a) (lat. *Betula pendula Roth*) koja može akumulirati 7- 10 puta više cinka u lišću u usporedbi s lišćem zlatice (slika 10.b) (lat. *S. virgaurea*). Breza zadovoljava sve uvjete za remedijaciju kao što su mogućnost rasta u tlu siromašnom nutrijentima, ima duboki korijenski sustav, brzo raste i otporna je na metale. [24]

Najpopularnije biljke stablašice su vrbe (lat. *Salix*) i topole (lat. *Populus*) (slika 11.a) zbog velikog kapaciteta upijanja vode i brzog rasta nadzemnih dijelova. Vrste koje dobro podnose visoke koncentracije mogu smanjiti onečišćenost industrijskih područja u rasponu između 10 - 70 mg/kg. Sadržaj cinka u listovima može biti veći od 100 mg/kg. Biljke pogodne za fitoremedijaciju cinka su: zob (lat. *Avena sativa*), smeđa i indijska gorušica (lat. *Brassica juncea*) (slika 11.b), ječam (lat. *Hordeum vulgare*) (slika 12.a), neke vrste vrba (lat. *Salix*), poljska četika (lat. *Thlaspi arvense*), uljana repica (lat. *Brassica napus*), trupac (lat. *Plantago lanceolata*), konoplja (lat. *Cannabis*). [10,24]

Istraživanje provedeno u Americi pokazalo je da je četika (lat. *Thlaspi caerulescens*) vrlo pogodna za fitoremedijaciju te može akumulirati do 39.600 mg po kilogramu suhe mase (slika 12.b). [10]



Slika 10. a) Breza (lat. *Betula pendula* Roth) i b) zlatica (lat. *S. virgaurea*) [31,32]



Slika 11. a) Topola (lat. *Populus*) i b) indijska gorušica (lat. *Brassica juncea*) [33,34]



Slika 12. a) Ječam (lat. *Hordeum vulgare*) i b) alpska čestika (lat. *Thlaspi caerulescens*) [35,36]

3.4. Prednosti i nedostaci fitoremedijacije

Prednost fitoremedijacije je u potrošnji energije i ukupno manjem financijskom trošku fitoremedijacije od konvencionalnih procesa uklanjanja onečišćenja. Biljke se mogu jednostavno nadgledati i pratiti promjene koncentracija otrovnih tvari. Postoji mogućnost "*recikliranja*" vrijednih metala iz pepela korištenih biljaka. [27]

Ovo je potencijalno najmanje štetna metoda jer koristi žive organizme (prirodu), a ne kemikalije pa ima najmanji utjecaj na okoliš. Biljni materijal koji je upio toksine može se obraditi sušenjem i paljenjem. Krajnja količina proizvedenog toksičnog otpada nakon tretiranja samo je manji dio količine toksičnog otpada dobivenog korištenjem konvencionalnih metoda. [27]

Nedostaci ove metode ovise o dubini na kojoj se korijenje razvija. Što je onečišćivalo dublje u tlu, korijenu će duže trebati da dopre do njega. Tijekom fitoremedijacije, dolazi do bioakumulacije toksina koji mogu ući u hranidbeni lanac. Na taj način toksini u biljkama postaju štetni za neke male organizme konzumiraju biljke. Ovaj se problem rješava ograđivanjem tretiranih područja. [27]

Kod fitoremedijacije, ponekad problem predstavlja i neprilagođenost biljne vrste na klimatske uvjete područja u kojem je potrebno saditi. Preživljavanje biljaka ovisi o stupnju onečišćenosti tretiranog tla. Iako ova metoda generira značajno manje količine toksičnog otpada, još uvijek se vode diskusije oko najboljeg načina odlaganja. Postoji nada da će se zelena masa s nakupljenim toksinima moći u budućnosti koristiti kao biogorivo. Primjer biljke koja može akumulirati metale i koristiti ulje ploda za proizvodnju biogoriva je skočac (lat. *Ricinus communis*). [37]

Znanstvenici nisu zadovoljni brzinom kojom biljke čiste tlo te se vrše veliki naponi u pronalaženju genetski modificiranih biljaka koje bi bolje akumulirale onečišćivala iz tla. Genetski modificirani organizam (GMO) je organizam, u kojem je genetski materijal izmijenjen na način koji se ne pojavljuje prirodnim putem parenjem i/ili prirodnom rekombinacijom. U nekim se slučajevima geni jetre sisavaca unose u biljke radi ubrzavanja detoksifikacije. Doduše, postavlja se pitanje koliko su ovakva nastojanja etički prihvatljiva. [27,38]

Jestivi usjevi za remedijaciju nisu iskoristivi zbog kratkog životnog vijeka, promjene u okusu te male produkcije biomase. Također, toksini se mogu proširiti kroz hranidbeni lanac. Biljke koje se koriste u fitoremedijaciji bi trebale biti nejestive (da onečišćivala ne uđu u hranidbeni lanac) s visokom proizvodnjom biomase te tolerantne na lokalne biološke i ne biološke utjecaje. [37]

Kratki pregled prednosti i nedostataka same metode dan je u Tablici 8.

Tablici 8. Pregled prednosti i nedostataka fitoremedijacije [10]

Prednosti fitoremedijacije	Nedostaci fitoremedijacije
Zelena okolišno prihvatljiva tehnologija	Potrebno duže vremensko razdoblje i od 15 godina
Mali volumen otpada	Ograničenje primjene samo na dubinu korijena
Krajobrazno prihvatljiva	Fitotoksična ograničenja
Poboljšava bioraznolikost	Ponekad nejasna sudbina onečišćene biljne mase
Prihvaća ju lokalna zajednica	Ovisnost o vremenskim prilikama, godišnjim dobima i stadiju razvoja biljke
Protuerozijska mjera	Autohtonost biljaka
Smanjuje emisiju čestica tla u zrak	Mogućnost onečišćenja podzemnih voda
Ne narušava strukturu tla	
Prihvatljiva na većim površinama	

3.5. Metode za poboljšanje fitoremedijacije

Efikasnost fitoremedijacije određena je s dva ključna faktora, proizvodnjom biomase i biokoncentracijskim faktorom metala. Biokoncentracijski faktor definiran je kao odnos koncentracije metala i sposobnosti biljke da apsorbira metal i transportira ga do izdanaka (dijelova biljaka koji mogu biti lako iskorišteni). Drveće akumulira velike količine cinka kao hiperakumulatori, ali zbog velikog rasta biomase sadržaj cinka puno je veći u usporedbi s hiperakumulatorima s manjim rastom biomase. [24]

Genetski inženjering je jedan od novijih pristupa koji može poslužiti kao alternativa za poboljšanje potencijala fitoremedijacije bilja s visokom biološkom proizvodnjom. Istraživanja su pokazala kako je teško razviti biljku s visokim prinosima biomase unošenjem gena za rast u hiperakumulatore koja je regulirana s par gena, unošenjem samo jednog gena. Stoga, biotehnološki pristupi koriste više gena za akumulaciju koji se unose u druge biljke s visokim prinosima biomase. [26]

Znanstvenici rade na dobivanju hibrida koji bi proizvodili veliku biomasu i ujedno bili hiperakumulatori cinka. Takav jedan primjer je hibrid između čestike (lat. *T. caerulescens*) (hiperakumulator) i topole (lat. *Brassica napus*). [26]

Fitoremedijacija cinka se može poboljšati korištenjem mikroba bez štetnih utjecaja na okoliš. Mikrobi poboljšavaju rast i razvoj korijena, dok u isto vrijeme poboljšavaju bioraspoloživost i topivost metala, što rezultira poboljšanoj prilagođenosti biljke na različite utjecaje iz okoliša. [39]

Kelati su kompleksni spojevi u kojima je metalni atom (ili ion) koordinacijski povezan s dva ili više atoma iste molekule. Kelati se koriste za poboljšanje fitoremedijacije, a to su etilendiamintetraoctena kiselina (EDTA), diaminocikloheksantetraoctena kiselina (CDTA), etilendiamin-di-feniloctena kiselina (EDDHA), itd. Oni poboljšavaju fizikalna, kemijska i biološka svojstva zemlje tako da obuhvate metalne ione i olakšaju apsorpciju metala, no problem kelata je što mogu onečistiti podzemnu vodu migracijom i otapanjem metala. [30,38,40]

4. FITORUDARENJE

Fitoremedijacija je korištenje hiperakumulirajućih biljaka za uklanjanje teških metala iz kontaminiranog tla. S druge strane, fitorudarenje je sadnja istih takvih biljaka na područjima, gdje je tlo bogato metalima kako bi se iz njih kasnije izolirali komercijalno vrijedni metali. Prvi eksperimenti fitorudarenja su pokazali kako fitorudarenje može biti dobra alternativa destruktivnim rudarskim zahvatima. [41,42]

Prednosti fitorudarenja spram klasičnih metoda rudarenja su mogućnost eksploatacije rude mineraliziranih zemljišta, biorude su oslobođene sulfidnih spojeva te manje trošenje energije tokom taljenja. Udio metala u biorudi je u većini slučajeva viši nego kod konvencionalnih ruda, stoga zauzima manje prostora za skladištenje. Ekonomska isplativost fitorudarenja će rasti, posebice u kombinaciji s drugim tehnologijama kao što su fitoremedijacija i proizvodnja biogoriva. [43]

5. ZAKLJUČAK

Remedijacija okoliša posljedica je rasta globalne svijesti o onečišćenju, prekomjernoj eksploataciji prirodnih resursa te štetnom utjecaju na ljudsko zdravlje i okoliš. Fitoremedijacija je tehnologija koja uspješno uklanja metale iz okoliša i smanjuje njihov negativan utjecaj. Interdisciplinarna suradnja znanstvenika daje znatne rezultate kod razvoja te tehnologije korištenjem različitih gnojiva, kemikalija, mikroorganizama, pronalaženjem biljaka hiperakumulatora za fitoremedijaciju te razvijanjem genetski modificiranih biljaka s višim prinosima i rezistencijom na različite utjecaje iz okoliša.

Cink je četvrti element po pojavljivanju u Zemljinoj kori i lako se reciklira, što ga čini dostupnim i jeftinim metalom. Eksploatacija metala uz pomoć biljaka još je uvijek tehnologija u povojima te trenutno pokazuje obećavajuće rezultate kod eksploatacije rijetkih metala. Eksploatacija cinka uz pomoć biljaka nije još uvijek isplativa, no prodaja dobivenog cinka kod remedijacije tla uvelike bi mogla smanjiti troškove sanacije tla. Branjem i spaljivanjem biljaka postoji mogućnost proizvodnje energije, ekstrakcije metala, oporavka okoliša i oslobađanja novih zemljišta za poljoprivredu.

6. LITERATURA

1. IZA (International Zinc Association). *Zinc Environmental Profile Life Cycle Assessment*. Dostupno na: http://www.zinc.org/wp-content/uploads/sites/4/2015/04/pdf_environmental_profile.pdf Datum pristupa: 4.5.2016.
2. Filipović, I.: *Olovo, cink i srebro*. Seminarski rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet. 2012.
3. Kropschot, S.J., Doebrich, J. L. *United States Geological Survey Fact Sheet. Uses of Zinc. The metal that is key to preventing corrosion*. Dostupno na: <http://geology.com/usgs/uses-of-zinc/> Datum pristupa: 3.5.2016.
4. Generalić, E. *Cink*. Periodni sustav elemenata. Split: Sveučilište u Splitu, Kemijsko tehnološki fakultet. 2016. Dostupno na: <http://www.periodni.com/hr/zn.html> Datum pristupa: 17.5.2016.
5. *Zinc*. Dostupno na: <http://sciencemadness.wikia.com/wiki/Zinc> Datum pristupa: 16.5.2016.
6. *Cink*. Dostupno na: <http://www.zdravosfera.com/cink/> Datum pristupa: 27.5.2016.
7. *Zinc-Rich Foods for Anorexic of Baby*. Dostupno na: <http://babystrollerhub.com/zinc-rich-foods-for-anorexic-of-baby/> Datum pristupa: 27.5.2016.
8. Dopuđa B. *CINK, Zn*. Dostupno na: www.pse.pbf.hr/hrvatski/elementi/zn/spojevi.html Datum pristupa: 16.5.2016.
9. Umicore Group. *Energy consumption. Rolled zinc production requires very little energy*. Dostupno na: <http://www.vmzinc.com/sustainable-building6/energy-consumption.html> Datum pristupa: 3.5.2016.
10. Kisić I. *Sanacija onečišćenog tla*. 1. izd. Zagreb: Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu. 2012. Izdavač: Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu. 2012.
11. U.S. Department of the Interior. *Zinc Statistics and Information* Dostupno na: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/zinc/> Datum pristupa: 16.5.2016.

12. McCallion, R. *Coping with coatings* Dostupno na:
<http://www.automotivemanufacturingsolutions.com/process-materials/coping-with-coatings> Datum pristupa: 3.5.2016.
13. *Sfalerit*. Dostupno na: <http://www.mineralscollector.com/prodane-kameny/sfalerit-185.html> Datum pristupa: 23.5.2016.
14. Gróh, P. *Hidrocinkit*. Dostupno na: <http://geomania.hu/asvfoto.php?fotoid=7962>
Datum pristupa: 28.5.2016
15. Betts H. Jhonn *Hemimorfit*. Dostupno na: <http://www.johnbettsfineminerals.com/jhbnyc/mineralmuseum/picshow.php?id=29435> Datum pristupa: 28.5.2016
16. Onstad, E. *Other zinc miners fail to follow Glencore ouktput cuts; price slides*. Dostupno na: <http://www.reuters.com/article/us-zinc-glencore-idUSKCN0SS25520151103> Datum pristupa: 18.5. 2016.
17. Natural Medicines Comprehensive Database. *Find a Vitamin or Supplement. ZINC*. Dostupno na: <http://www.webmd.com/vitamins-supplements/ingredientmono-982-zinc.aspx?activeingredientid=982> Datum pristupa: 23.5.2016.
18. Lenntech BV. *Zinc – Zn. Chemical properties of zinc - Health effects of zinc - Environmental effects of zinc*. Dostupno na:
<http://www.lenntech.com/periodic/elements/zn.htm#ixzz47bNjhHMC> Datum pristupa: 3.5.2016.
19. Hellenic Mining Watch. *Mine Spill in Greece Leaves Red Streak of Pollution in Scenic Bay*. Dostupno: <http://miningwatch.ca/news/2002/12/13/mine-spill-greece-leaves-red-streak-pollution-scenic-bay> Datum pristupa: 3.5.2016.
20. Federalni zavod za agropedologiju, *Teški metali u biljkama Zenica*. Dostupno: <http://www.ekoforumzenica.ba/pdf/teski%20metali%20u%20biljkama%20ZENICA.pdf>
Datum pristupa: 4.5.2016.
21. Bloodnick, E. *Role of Zinc in Plant Culture*. Dostupno na:
<http://www.pthorticulture.com/en/training-center/role-of-zinc-in-plant-culture/> Datum pristupa: 23.5.2016.
22. Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja. Narodne novine. 2013. Broj 39. [18.12.2013.]

23. Radić Lakoš, T., Radečić M. *Upotreba hiperakumulatora teških metala u remedijaciji onečišćenog tla*. Veleučilište u Šibeniku
24. Dmuchowskia W., Gozdowskib BrągoszewskabD., P., Baczewskaa A. H., Suwarab I. *Phytoremediation of zinc contaminated soils using silver birch (Betula pendula Roth)*. Ecol. Eng. 2014. 71, 32–35.
25. Pandeya V. C., Bajpaib O., Singha N., *Energy crops in sustainable phytoremediation*. Renew. Sustainable Energy Rev. 2016. 54, 58-73.
26. Malik B., Pirzadah T. B., Tahir I., Dar T. H., Rehman R., *Recent Trends and Approaches in Phytoremediation*. Soil Remediation and Plants. 2015. 131-146
27. Mijat V. *Saniranje onečišćenog tla. Fitoremedijacija: Bilje spašava čovječanstvo!* Dostupno na: <http://www.agroklub.com/eko-proizvodnja/fitoremedijacija-bilj>
e-spasava-covjecanstvo/14210/ Datum pristupa: 4.5.2016.28.
28. University of Delaware. *Science and technology campus development guidelines*. Dostupno na: <https://www.udel.edu/star/downloads/Guidelines%2002.01.11-FINAL.pdf>
Datum pristupa: 18.5.2016.
29. Cule N. *Fitoremedijacija i biljke pogodne za fitoremedijaciju voda zagađenih teškim metalima*. Skripta. Beograd: Sveučilište u Beogradu, Upravljanje okolišem
30. Rufus, L. Chaney, J. Scott Angle, C. Leigh Broadhurst, Carinne A. Peters, Ryan V. Tappero, Donald L. Sparks Improved Understanding of Hyperaccumulation Yields Commercial Phytoextraction and Phytomining Technologies. Dostupno na: <http://www1.udel.edu/soilchem/Chaney07JEQ.pdf> Datum pristupa: 24.5.2016.
31. *Goldenrod c/s Solidago virgaurea*. Dostupno na: <http://ofearthandair.com/shop/goldenrod-cs/> Datum pristupa: 28.5.2016.
32. Greenland, T., *Silver Birch. BETULA PENDULA*. Dostupno: <http://www.exmoortrees.co.uk/birch/> Datum pristupa: 28.5.2016.
33. The Indian Council of Agricultural Research *Directorate of Rapeseed Mustard Research*. Dostupno na: <http://www.drmr.res.in/> Datum pristupa: 24.5.2016.

34. Boerjan, W. *VIB applies for second poplar field trial*. Dostupno na: <http://www.vib.be/en/news/Pages/VIB-applies-for-second-poplar-field-trial.aspx> Datum pristupa: 24.5.2016.
35. Lehmuskallio, J. *Alpine Pennycress. Thlaspi caerulescens*. Dostupno na: <http://www.luontoportti.com/suomi/en/kukkakasvit/alpine-pennycress> Datum pristupa: 24.5.2016.
36. *Jari ječam - Bc ALARIK*. Dostupno na: <http://www.bc-agroslavonija.hr/o/sjemenska-roba/jari-jecam-bc-alarik/1860/> Datum pristupa: 27.5.2016.
37. Bauddha, K., Singhb, K., Singha, B., Singhc, R. P. *Ricinus communis: A robust plant for bio-energy and phytoremediation of toxic metals from contaminated soil*. Ecol. Eng. 2015. 84, 640–652.
38. Državni zavod za zaštitu prirode. *O genetski modificiranim organizmima*. Dostupno na: <http://www.dzzp.hr/introdukcija-i-reintrodukcija/gmo/o-genetski-modificiranim-organizmima-734.html> Datum pristupa: 29.5. 2016
39. Ullaha, A., Henga, S., Munisb, M. F. H., Fahadc, S., Yanga, X. *Phytoremediation of heavy metals assisted by plant growth promoting (PGP) bacteria*. Environ. Exp. Bot., 2015. 117, 28–40.
40. Leksikografski zavod Miroslav Krleža. *Kelati*. Dostupno na: <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=31111> Datum pristupa: 26.5.2016.
41. Salkić, B. *Neke biljke vole metale* Dostupno na: <http://biologija.com.hr/modules/AMS/article.php?storyid=9495> Datum pristupa: 23.5.2016.
42. Brooks R.R., Chambers M.F., Nicksc L.J., Robinson B.H. Trends in plant science. Phytomining. Vol 3 No 9 1998. 359–362
43. Robinson, B. *PHYTOMINING*. Dostupno na: <http://www.kiwiscience.com/phytomining.html> Datum pristupa: 24.5.2016.

Popis slika

Slika 1. Slomljena pločica čistog cinka

Slika 2. Hrana bogata cinkom

Slika 3. Potrošnja energije za proizvodnju i reciklažu pojedinih metala

Slika 4. Stavljanje karoserije automobila u galvansku kupku u Slovačkoj

Slika 5. Hemimorfit, hidrocinokit i sfalerit

Slika 6. Prijevoz cinkove rude u australskom rudniku

Slika 7. Izlijevanje otpadnih voda i mulja nastalih eksploatacijom olova i cinka u zaljev Ierisso, Grčka

Slika 8. Aktivna fitoremedijacija pomoću vrbe i topole

Slika 9. Različite metode fitoremedijacije

Slika 10. Breza (lat. *Betula pendula* Roth) i zlatica (lat. *S. virgaurea*)

Slika 11. Topola (lat. *Populus*) i indijska gorušica (lat. *Brassica juncea*)

Slika 12. Ječam (lat. *Hordeum vulgare*) i alpska čestika (lat. *Thlaspi caerulescens*)

Popis tablica

Tablica 1. Dnevne potrebe cinka

Tablica 2. Proizvodnja i rezerve cinka u svijetu

Tablica 3. Rasprostranjenost cinka u sastavnicama okoliša

Tablica 4. Utjecaj na okoliš proizvodnje jedne tone cinka

Tablica 5. Maksimalno dopuštena koncentracija cinka u tlu prema Pravilniku (NN 09/14)

Tablica 6. Metode fitoremedijacije

Tablica 7. Učinak onečišćivala na biljku i koncentracija metala

Tablica 8. Pregled prednosti i mana fitoremedijacije