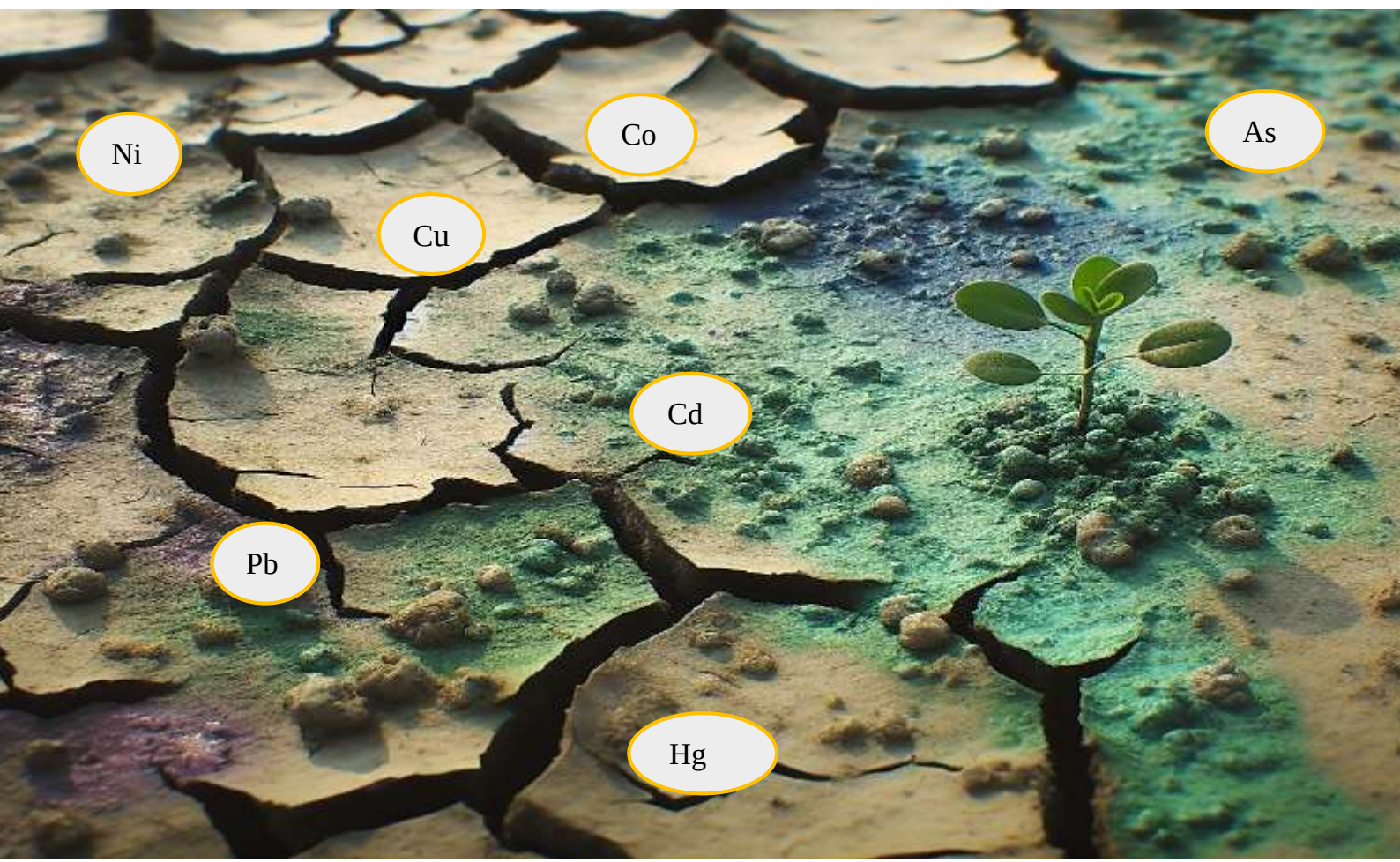




HORTIKULTURA – možnosti, priložnosti, primeri dobrih praks,
zbornik 13. strokovne konference s temo

ČIŠČENJE ONESNAŽENIH TAL IN OZELENJEVANJE DEGRADIRANIH POVRŠIN

Celje, 20. november 2024



Izdajatelj:	ŠOLA ZA HORTIKULTURO IN VIZUALNE UMETNOSTI CELJE Višja strokovna šola Ljubljanska cesta 97, 3000 CELJE Spletni naslov: www.hvu.si Leto izida: 2024
Naslov	Hortikultura – možnosti, priložnosti, prenos dobre prakse, zbornik 13. strokovne konference s temo ČIŠČENJE ONESNAŽENIH TAL IN OZELENJEVANJE DEGRADIRANIH POVRŠIN
Zbrala in uredila:	Barbara Pajk

Odgovornost za vsebino prispevkov nosijo avtorji.

Katalogni zapis o publikaciji (CIP) pripravili v Narodni in univerzitetni knjižnici v
Ljubljani
COBISS.SI-ID
ISBN

HORTIKULTURA – možnosti, priložnosti, primeri dobrih praks,
zbornik 13. strokovne konference s temo

ČIŠČENJE ONESNAŽENIH TAL IN OZELENJEVANJE DEGRADIRANIH POVRŠIN

Celje, 20. november 2024

Vsebina

PREDGOVOR.....	1
DEGRADACIJE TAL: VRSTE DEGRADACIJ IN NAČINI REKULTIVACIJE/REMEDIACIJE TAL.....	2
VSEBNOSTI TEŽKIH KOVIN V TLEH: INTERPRETACIJA GLEDE NA TVEGANJA, IZZIVI AKTUALNE IN POTREBNA ZAKONODAJA O ONESNAŽENJU TAL V SLOVENIJI	10
MIKORIZA KOT POMOČ ZA PREŽIVETJE IN USPEŠNO RAST RASTLIN NA DEGRADIRANIH ZEMLJIŠČIH.....	26
FITOREMEDIACIJSKI POTENCIAL GINKA (<i>GINKGO BILOBA</i> L.)	37
FITOREMEDIACIJSKI POTENCIAL KONOPLJE (<i>CANABIS SATIVA</i> L.)	43
REVITALIZACIJA DEGRADIRANIH TAL, ONESNAŽENIH Z ORGANSKIMI SNOVMI	50
IZZIVI REKULTIVACIJE DEGRADIRANIH RUDNIŠKIH POVRŠIN PO ZAKLJUČENEM IZKORIŠČANJU MINERALNIH SUROVIN	56
DEGRADACIJA TAL ZARADI OSTANKOV FITOFARMACEVTSKIH SREDSTEV	67
PRIDELAVA ZELENJADNIC IN TEŽKE KOVINE	71
TEŽKE KOVINE V ZELENJAVI: GROŽNJA ZA ZDRAVJE.....	80
VRAČANJE TAL PO POPLAVI NA NJIVE.....	86

PREDGOVOR

Pred vami je zbornik z naslovom **Čiščenje onesnaženih tal in ozelenjevanje degradiranih površin**, ki prinaša poglobljen vpogled v problematiko degradacije tal in možnosti njihove revitalizacije. V današnjem času se vse bolj zavedamo pomena varovanja okolja in trajnostnega razvoja, zato je razumevanje procesov degradacije tal ter iskanje učinkovitih rešitev za njihovo sanacijo ključnega pomena.

Članki v zborniku obravnavajo različne vidike te kompleksne teme, od vrst degradacij in načinov rekultivacije, do vsebnosti težkih kovin v tleh in njihovih vplivov na rastline. Posebna pozornost je (bila na konferenci) namenjena tudi zakonodaji o onesnaženju tal v Sloveniji, kar je pomemben korak k oblikovanju ustreznih politik in ukrepov za varstvo tal. Bralci boste skozi te prispevke pridobili vpogled v trenutne izzive in priložnosti, ki jih prinaša upravljanje z onesnaženimi tlemi.

Poleg tega zbornik raziskuje možnosti čiščenja onesnaženih tal z rastlinami ter vlogo mikorize pri preživetju in uspešni rasti rastlin na degradiranih zemljiščih. Ti pristopi predstavljajo obetavne rešitve za revitalizacijo degradiranih tal, še posebej v kontekstu rekultivacije rudniških površin po zaključenem izkoriščanju surovin in ozelenitvi drugih degradiranih površin. Obsežna območja zahtevajo posebno skrb za sanacijo in ponovno ozelenitev. Rastline imajo namreč izjemen potencial za absorpcijo in akumulacijo težkih kovin, kar odpira nove možnosti za fitoremediacijo. Mikoriza, simbiotski odnos med glivami in rastlinami, je še ena izmed tem, ki jih zbornik obravnava. To lahko bistveno pripomore k preživetju in uspešni rasti rastlin na degradiranih zemljiščih, saj izboljšuje dostopnost hranil in vode ter povečuje odpornost rastlin na stresne pogoje.

Ne pozabljamo niti na pridelavo zelenjadnic v kontekstu prisotnosti težkih kovin v tleh. Ta tematika je še posebej pomembna za kmetijstvo, hortikulturo in varnost hrane, saj lahko težke kovine preko rastlin vstopajo v prehranjevalno verigo in v preseženih vrednostih škodljivo vplivajo na ljudi in živali.

Verjamemo, da vas bodo prispevki spodbudili k razmišljanju in iskanju inovativnih rešitev za te pereče okoljske probleme. Želimo vam prijetno branje in vas vabimo, da svoje misli in nova spoznanja delite z drugimi.

Nada Reberšek Natek, ravnateljica VŠŠ

DEGRADACIJE TAL: VRSTE DEGRADACIJ IN NAČINI REKULTIVACIJE/REMEDIIACIJE TAL

dr. Helena Grčman

Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani

helena.grcman@bf.uni-lj.si

Povzetek

V prispevku podajamo pregled degradacijskih procesov v kmetijskih in urbanih tleh ter njihovih naravnih in antropogenih vzrokov. Obravnavamo načine za izboljšanje kakovosti tal, vključno z načini za odstranjevanje onesnažil iz tal in ukrepi za zmanjševanje negativnih vplivov onesnaženih tal na človeka in druge segmente okolja. Pri tem upoštevamo dejavnike, ki pogojujejo ali omejujejo izbor možnih ukrepov. Opisani so možni postopki remediacije tal ob upoštevanju velikosti in namembnosti območja, stopnje onesnaženosti in vrste onesnažil.

Abstract

This paper provides an overview of the degradation processes in agricultural and urban soils and their natural and anthropogenic causes. We discuss ways to improve soil quality, including measures to remove pollutants from the soil or to reduce the negative impact of contaminated soils on humans and other parts of the environment. We consider factors that determine or limit the choice of possible measures. Different soil remediation methods are described, taking into account the size and purpose of the area, the degree of contamination and the nature of pollutants.

Ključne besede: fizikalne lastnosti tal, zbitost tal, strukturnost tal, erozija, remediacija tal, organska onesnažila, anorganska onesnažila

Key words: physical properties of soil, soil compaction, soil structure, erosion, soil remediation, organic pollutants, inorganic pollutants

1 Uvod

Tla so naravna tvorba, zgornji del litosfere, ki si so nastala s pedogenetskimi procesi pod vplivom tlotvornih dejavnikov. Tlotvorni dejavniki so kamninska osnova oziroma matična podlaga, relief, klima, organizmi in čas. Pedogenetski procesi vključujejo transformacije, premeščanje, dodajanje in odvzemanje snovi. Izmed pedogenetskih procesov posebej izpostavljamo preprevanje kamnin in mineralov, ki so glavni naravni vir elementov v tleh, ter mineralizacijo in humifikacijo organskih ostankov. Tla so trifazni sistem; trdno fazo predstavljajo anorganski in organski delci, tekoča faza je talna raztopina, plinasta faza talni zrak. Prisotnost vseh treh faz omogoča rodovitnost tal. Poleg pridelave hrane, tla nudijo tudi druge ekosistemske storitve. Naravni procesi, ki potekajo v tleh, vzdržujejo življenje na Zemlji. Tla zadržujejo in čistijo vodo, uravnavajo pretoke in polnjenje vodonosnikov ter tako blažijo vplive poplav in suš, iz ozračja vežejo ogljik in prispevajo k

zmanjševanju emisij toplogrednih plinov ter učinkov podnebnih sprememb, s kroženjem hranil omogočajo rodovitnost in zmanjšujejo onesnaženje, ohranjajo in varujejo biotsko raznovrstnost ter habitate v tleh in nad tlemi, ohranjajo kulturno krajino in našo kulturno dediščino (Suhadolec in sod., 2022). Večnamenskosti tal se zavemo posebno takrat, ko človek s svojimi dejavnostmi poslabša njihovo kakovost in ogrozi njihovo ekosistemsko storitev.

2 Degradacije tal

V Evropski strategiji za tla do leta 2030 (EK, 2021) so opredeljene naslednje degradacije tal: erozija, pozidava, onesnaževanje, zmanjšanje organske snovi v tleh, plazenje in usadi tal, zaslanjevanje, zbijanje tal in zmanjševanje biološke raznovrstnosti. Na vrsto in obseg degradacijskih procesov vplivajo podnebne razmere, talne lastnosti, naravni procesi in človekove dejavnosti.

2.1 Degradacijski procesi v kmetijskih tleh

Degradacije, značilne za kmetijska tla so erozija, onesnaževanje, zmanjševanje organske snovi, zmanjševanje biološke raznovrstnosti, zbijanje tal in zaslanjevanje. Večinoma so povzročene z neprimernimi kmetijskimi praksami in pogosto potekajo sočasno. Onesnaževanje kmetijskih tal je lahko posledica razpršenega onesnaževanja zaradi industrije in prometa, ali nekaterih kmetijskih praks. Izvor potencialno nevarnih snovi v kmetijskih tleh so lahko mineralna gnojila (As, Cd, Mn, U, V, Zn), organska gnojila (As, Cu, Mn, Zn), sredstva za apnjenje (As, Pb), fitofarmacevtska sredstva (Cu, Mn, Zn, As, Pb, S) in oporečne namakalne vode (Cd, Pb, Se) (Kabata -Pendias, 2010). Poleg antropogenih izvorov potencialno toksičnih elementov, pa se moramo zavedati, da je elementna sestava tal v prvi vrsti odvisna od kamninske podlage, na kateri tla nastajajo (Gosar in sod., 2019) in je zato poznavanje značilnosti kamnin in tal ključno za pravilno interpretacijo antropogenih virov (Zupan in sod., 2008). K zaslanjevanju so naravno podvržena predvsem tla na aridnih in semiaridnih območjih (Weil in Brady, 2026), pri čemer lahko slanost tal povečuje tudi zalivanje s slano, neprečiščeno vodo. Monokulturno kmetijstvo, neuravnoteženo gnojenje in premalo organskega gnojenja ter puščanja organskih ostankov na njivah, vodi k zmanjševanju organske snovi v tleh in posledično k zmanjševanju biološke raznovrstnosti. Za kmetijska tla je tudi zelo značilno poslabšanje fizikalnih lastnosti tal. Med fizikalne lastnosti uvrščamo teksturo, strukturo, gostoto in od njih odvisne vodne ter zračne lastnosti tal. Tekstura, to je sestava tal glede na velikost talnih delcev, je osnovna lastnost, od katere je zelo odvisna ranljivost tal za zbijanje in poslabšanje strukturnosti tal. Težka tla, to so tla z večjim deležem gline, ter tla z velikim deležem melja, so bolj dovzetna za to vrstne degradacije kot lahka, peščena tla. Težka mehanizacija in obdelava tal v neugodnih vlažnostnih razmerah (premokrhi tal), vodi v zbitost tal ter do uničenja strukturnih agregatov, kar posledično privede do zaskorjenosti tal in s tem povezano slabšo infiltracijo padavinske vode ter povečanim površinskim odtokom padavinske vode in erozijo talnih delcev. V tleh s slabo obstojno strukturo so ti procesi še bolj izraziti. Slabo obstojna struktura je tudi posledica kislosti tal (pomanjkanja dvovalentnih Ca ionov) ter majhne vsebnosti organske snovi, uničujemo pa jo lahko tudi s preveč intenzivno obdelavo. Medtem ko je zbitost tal povratna degradacija, je erozija tal nepovratna degradacija, saj vodi do trajne izgube površinskih, s humusom in hranili bogatih talnih delcev. Erozija talnih delcev v obsegu le 0,2 mm letno pomeni izgubo tal v obsegu 3 t ha⁻¹ leto⁻¹ (Zorn in Komac, 2005). V Sloveniji so tla močno ogrožena zaradi erozije. Modelni izračuni (Vrščaj in sod., 2021) kažejo, da je ocena povprečne stopnje erozije tal v Sloveniji po metodi RUSLE 3,68 t ha⁻¹ leto⁻¹. Največja je v trajnih nasadih, kar 17,79 t ha⁻¹ leto⁻¹, za njive in vrtove je povprečna ocena erozije 7,58 t ha⁻¹ leto⁻¹, za travniške površine 6,82 t ha⁻¹ leto⁻¹ ter v gozdovih 0,43 t ha⁻¹ leto⁻¹. Glavni dejavniki, ki vplivajo na erozijo so naklon zemljišča, raba tal, pokritost tal z rastlinami ali rastlinskimi ostanki, erodibilnost tal ter erozivnost padavin (Vrščaj in sod., 2022).

2.2 Degradacije tal v mestih

Tla v mestih ogrožata v največji meri pozidava in onesnaževanje. Prisotno pa je tudi zbijanje tal in zmanjševanje biodiverzitete tal. Vzroki za nepovratno izgubo tal so razpršena pozidava ter širjenje trgovskih in industrijskih con, še posebej ob pomanjkanju regijskega in prostorskega načrtovanja. Onesnaževanje tal v mestih je lahko posledica razpršenega onesnaževanja z atmosferskim depozitom. Sežigalnice so vir Cd, Cu, Pb, Sn, Hg, V, As, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Tl, Zn. Avtomobilski izpusti so vir Mo, Pb, V in drugih kovin. Izgorevanje fosilnih goriv je vir As, Pb, Sb, Se, U, V, Zn, Cd (Kabata-Pendias, 2010). Poleg razpršenega onesnaževanja, pa je v mestih pogosto tudi točkovno onesnaževanje, zaradi odlaganja gradbenih in industrijskih odpadkov, izlitij in divjih odlagališč in zaradi nekontroliranega premeščanja tal ob gradnjah (Zupan in sod., 2008). Zbijanje tal povzroča vožnja po nepopločenih tleh in gradbena dela v neugodnih vlažnostnih razmerah.

3 Remediacije in rekultivacije degradiranih tal

Za povrnitev kakovosti degradiranih tal in s tem njihovih sposobnosti za opravljanje ekosistemskih storitev je potrebna remediacija tal. Remediacija tal zajema širok spekter ukrepov, tako za zmanjševanje količine onesnažil v tleh ali njihovo stabilizacijo, kot za izboljšanje fizikalnih, kemijskih ter bioloških lastnosti tal. Rekultivacija zemljišča je ponovna vzpostavitev kmetijske ali druge rabe na degradiranem zemljišču, pri čemer lahko vključuje izvorna tla, remediirana tla ali tehnogena tla. Izbor primerne metode za remediacijo tal in ustreznega načina rekultivacije zemljišča je odvisen od vrste in stopnje degradacije.

3.1 Izboljšanje fizikalnih lastnosti tal

Medtem ko tekstore tal praktično ne moremo spreminjati, pa lahko z vrsto ukrepov izboljšamo strukturo tal, zmanjšamo zbitost tal in posledično izboljšamo tudi vodne ter zračne lastnosti tal. Zbitost tal lahko izboljšujemo z mehanskim rahljanjem tal, ki mora biti izvedeno v primerni vlažnosti tal, ter z gojenjem rastlin, ki zaradi gostega in globokega koreninskega sistema, prispevajo k povečevanju organske snovi v tleh ter strukturiranju tal (Grčman in Zupanc, 2018). Za dolgoročno odpornost tal na zbijanje je potrebno vzpostaviti stabilno strukturo tal. Poleg vključevanja meliorativnih rastlin v kolobar, na stabilnost strukture v največji meri vplivamo z dodajanjem organske snovi, bodisi z organskimi gnojili ali rastlinskimi ostanki, ter kalcijevih ionov z apnjenjem. Izmed ukrepov je potrebno izpostaviti ohranitveno kmetijstvo, ki je ključno za zmanjševanje zbitosti tal, ohranjanje organske snovi v tleh, in zmanjševanje erozije. Glavna načela ohranitvenega kmetijstva so (i) brez ali z minimalnimi mehanskimi posegi v tla (ohranitvena obdelava tal), (ii) stalna pokritost tal s poljščinami in/ali rastlinskimi ostanki, pri čemer mora biti vsaj 30 % površine tal pokrite tudi neposredno po setvi, ter (iii) pester kolobar, vključno s prekrivnimi posevki.

3.2 Ukrepi za onesnažena tla

Onesnaženost tal je nevidna grožnja. Vsebnost potencialno nevarnih snovi v tleh lahko razkrije le analiza, zato je vzpostavljen sistematičen monitoring kakovosti tal na nivoju države (Zupan in sod., 2008) in spremljanje stanja tal na območjih z metalurško in drugo industrijo, kot je na primer območje Mežiške doline (Ivartnik, 2010; Hudopisk in sod., 2015, Hudopisk in sod., 2016) in Celja (Grčman in sod., 2013), prvi korak pri reševanju tega problema. Potencialno nevarne snovi so (i) organske spojine, ki so v okolju večinoma podvržene transformacijam in razgradnji in (ii) anorganske snovi, med katerimi je večina elementov, ki so nerazgradljivi. V tleh se dobro vežejo na talne delce in tako ostajajo skozi daljša časovna obdobja. Enako velja za dolgoživa oz. persistentna organska onesnažila. Onesnaževanje tal zato pogosto predstavlja nepovratno degradacijo, z neposrednim vplivom na človekovo zdravje. Poti prenosa potencialno nevarnih snovi iz tal v

človeka so vdihovanje prahu, zaužitje tal, prenos preko rastlin oz. prehranjevalne verige in preko vode. Ukrepi za blaženje negativnih vplivov onesnaženosti tal so odvisni od namembnosti in velikosti onesnaženega območja, stopnje onesnaženosti, finančnih sredstev, socioloških vidikov in seveda zakonodaje.

Ukrepi za zmanjševanja vnosa potencialno nevarnih snovi v človeka

Na obsežnih onesnaženih območjih, pri katerih odstranjevanje onesnažil iz tal finančno in tehnično ni izvedljivo, je potrebno izvesti ukrepe za zmanjšanje prenosa potencialno nevarnih snovi v človeka. Na kmetijskih območjih npr. opustimo pridelavo rastlin za hrano in krmo, izberemo rastline, ki ne sprejemajo potencialno toksičnih elementov v užitelne dele, prilagodimo rejo živali, npr. opustimo pašo. Z dvigom pH vrednosti in dodajanjem snovi, ki vežejo kovine, lahko zmanjšamo njihovo dostopnost za rastline, jih imobiliziramo. Na urbanih območjih (parki, zelenice), uredimo površine tako, da preprečimo pojav golih površin in posledično prašenje v suhem vremenu. To dosežemo z vzdrževanjem travne ruše, če se le da, tudi na senčnih mestih, z urejanjem in utrjevanjem poti za pešce. Pomembno je tudi, da nadzorujemo gradbene posege in omejimo prašenje in blatenje tal pri gradbenih delih ter nadzorujemo odlaganje onesnaženih tal, ki mora biti varno in evidentirano. Ravno premeščanje onesnaženih tal pri gradbenih delih je eno od glavnih izvorov sekundarnega onesnaženja v urbanih okoljih. Na onesnaženih območjih je koristno tudi pranje fasad, mokro pometanje cest, čiščenje notranjih prostorov. Največjo skrb pa je potrebno nameniti ureditvi otroških igrišč, saj so otroci najbolj izpostavljeni nevarnim snovem v tleh pri igri. Otroci največ časa preživijo zunaj, se s tlemi tudi igrajo, ter talne delce preko rok nenamerno ali namerno vnesejo v usta. Biodosegljivost onesnažil iz tal je pri oralnem vnosu, zaradi kislega pH v želodcu, velika.

Sanacije onesnaženih območij z izkopom in zamenjavo tal

Za manjša območja so izvedljivi lahko tudi ukrepi z zamenjavo tal, ki vključujejo izkop ter zamenjavo in odlaganje onesnaženih tal. Pri tem se seveda soočamo s problemi transporta in odlaganja onesnaženih tal, ter razpoložljivostjo nadomestnih neonesnaženih tal. Na tak način je v Sloveniji bilo sanirano eno otroško igrišče v Ljubljani in več otroških igrišč na območju občine Celje in Zgornje Mežiške doline. Pri tem postopku je potrebno v prvi fazi natančno ugotoviti stopnjo ter prostorsko razsežnost onesnaženosti tal in pripraviti natančen načrt sanacije in navodila za delo z onesnaženim materialom. Vsebnost potencialno nevarnih snovi je potrebno spremljati tudi med izkopom in po izvedeni ponovni ureditvi igrišča, za namen kontrole novega materiala. Ponovna ureditev igrišča vključuje nasutje tamponskega materiala, ki preprečuje prenos ostanka onesnažil iz spodnjih originalnih tal v zgornje nove plasti tal z ascendentnim dvigom talne vode, nasutje neoporečne zemljine s primernimi fizikalnimi in kemijskimi lastnostmi, polaganje travne ruše in ureditev območij pod igrali z različnimi naravnimi ali umetnimi materiali, kot so tartan, lubje, podesti iz lesa ali podobnega materiala. Podobno je potrebno urediti tudi površine pod drevesi, kjer je izkop onesnaženih tal omejen zaradi varovanja korenin dreves. Postopek sanacije otroških igrišč prikazujejo Slike 1 do 8.



Slika 1: Vzorčenje tal s sondo za ugotavljanje prostorske (horizontalne in vertikalne) razsežnosti onesnaženosti



Slika 2: Meritve kovin s prenosnim rentgenskim fluorescenčnim analizatorjem (pXRF) na terenu



Slika 3: Odkop onesnaženih tal iz otroške igrišča



Slika 4: Polaganje tamponske cone



Slika 5: Navoz neonesnažene zemljine



Slika 6: Ureditev poti in območij pod igrali



Slika 7: Ureditev podestov pod drevesi med sanacijo igrišča



Slika 8: Ureditev območij pod igrali

Postopki odstranjevanja onesnažil iz tal

Problem odlaganja onesnaženih tal lahko rešijo remediacijski postopki, ki so specifični za posamezno onesnažilo. Metode čiščenja tal obremenjenih z organskimi onesnažili, ki so potencialno razgradljiva (PCB, PAH, herbicidi, nafta...), temeljijo na pospešeni razgradnji. Razgradnjo lahko pospešimo s pomočjo mikroorganizmov, kompostiranjem, segrevanjem tal, fotodegradacijo in fitoekstrakcijo. Metode čiščenja tal onesnaženih z anorganskimi onesnažili, ki so nerazgradljiva (težke kovine, fluoridi), temeljijo na spreminjanju njihove mobilnosti in transporta v tleh. Glavni načini remediacije v primeru anorganskih onesnažil so imobilizacija, oksidacija in redukcija, metilacija, izpiranje (soil washing) in fitoekstrakcija (Voglar in sod., 2013). Glede na mesto čiščenja delimo metode na *ex situ* metode, ki vključujejo izkop in čiščenje tal v reaktorjih, ter *in situ* metode, ki so namenjene predvsem zmanjševanju dostopnosti in mobilnosti potencialno toksičnih snovi v tleh, torej njihovi imobilizaciji. Kadar s postopki čiščenja ne povečujemo dostopnosti onesnažil, ter s tem nevarnosti za izpiranje v podzemne vode, jih lahko izvajamo *in situ*. Kadarkoli čiščenje poteka s pomočjo ligandov, ki povečujejo topnost onesnažil, so potrebne *ex-situ* metode, ki vključujejo tudi čiščenje in recikliranje odpadnih vod, ki nastajajo pri postopku izpiranja tal (Leštan, 2015). Za zelo kontaminirana območja, kjer ne moremo zagotoviti varnega rokovanja z onesnaženimi tlemi, so primerne metode solidifikacije in vitrifikacije, ki spremenijo tla v homogeno inertno maso in s tem preprečijo prenos nevarnih snovi iz tal.

4. Zaključek

Tla so kompleksen trifazni sistem, ki s svojimi fizikalnimi, kemijskimi in biološkimi lastnostmi omogočajo življenje na Zemlji. Poslabšanje njihovih lastnosti lahko vodi do izgube rodovitnosti in zmožnosti opravljanja ekosistemskih storitev ter do tveganj za zdravje ljudi. Onesnažila, ki prihajajo v tla z razpršenim ali točkovnim onesnaževanjem, se v tleh lahko dobro vežejo na talne delce in ostajajo prisotna skozi dolga časovna obdobja, tudi po tem, ko se onesnaževanje ustavi. Tla delujejo torej kot ponor onesnažil in hkrati njihov izvor. Poznavanje talnih lastnosti in zakonitosti procesov v tleh je ključno tako za preprečevanje degradacij tal, kot za njihovo reševanje.

5. Viri in literatura

Evropska komisija, Generalni direktorat za okolje, EU soil strategy for 2030 : towards healthy soils for people and the planet, Publications Office, 2021 <https://data.europa.eu/doi/10.2779/02668>

Gosar, M., Šajn, R., Bavec, Š., Gaberšek, M., Pezdir, V., Miler, M. 2019. Geochemical background and threshold for 47 chemical elements in Slovenian topsoil = Geokemično ozadje in zgornja meja naravne variabilnosti 47 kemičnih elementov v zgornji plasti tal Slovenije. Geologija. 62, št. 1, str. 7-59.

Kabata-Pendias, A. (2010). Trace Elements in Soils and Plants (4th ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b10158>- dLib.si, DOI: 10.5474/geologija.2019.001.

Grčman, H., Lapajne, S., Zupan, M. 2013. Sanacijski in preventivni ukrepi za preprečevanje vnosa kovin iz tal v človekov organizem = Remedial and preventive measures to reduce metal uptake from soil to human organism. V: Grabner, B., (ur.), Ribarič-Lasnik, C. (ur.). Onesnaženost okolja in naravni viri kot omejitveni dejavnik razvoja v Sloveniji - Celjska kotlina kot modelni pristop za degradirana območja = Environmental pollution and natural resources as a limiting factor for development in Slovenia - Celje basin as a model approach for degraded areas. Celje: Inštitut za okolje in prostor, 2013. Str. 74-87.

Grčman, H., Zupanc, V.. Odmerjanje odškodnin za poškodbe kmetijskih zemljišč ob njihovi začasni zasedenosti = Compensation for soil degradation after easement of agricultural land for a fixed period. *Geodetski vestnik : glasilo Zveze geodetov Slovenije*. [Tiskana izd.]. 2018, letn. 62, št. 2, str. 235-248. DOI: 10.15292/geodetski-vestnik.

Hudopisk, N., Ivartnik, M., Pavlič, H. Življenje s svincem-primerjava obremenjenosti otrok s svincem po conah in predlogi ukrepov za zmanjšanje izpostavljenosti = Living with lead - comparison of blood lead burden in children according to zones and proposals of measures for exposure reduction. *Enboz. apr. 2015, letn. 5, št. 4, str. 33-38. ISSN 2232-3139.* http://www.nijz.si/sites/www.nijz.si/files/uploaded/enboz_april_2015.pdf.

Hudopisk, N., Ivartnik, M.. Življenje s svincem - protokol ob ugotovitvi povišanih vrednosti svinca v krvi otrok = Living with lead - protocol for follow - up of children with elevated blood lead levels. *Enboz. sep. 2016, letn. 6, št. 8, str. 8-11. ISSN 2232-3139.* http://www.nijz.si/sites/www.nijz.si/files/uploaded/enboz_september_2016.pdf.

Ivartnik, M., Eržen, I. Uporaba modela IEUBK za napoved vsebnosti svinca v krvi otrok pri raziskavah in sanaciji okolja v Zgornji Mežiški dolini = The IEUBK model for lead blood burden prediction in children used in the exploration and remediation of the Upper Meža valley environment. *Zdravstveno varstvo : Slovenian journal of public health*. [Tiskana izd.]. 2010, letn. 49, št. 2, str. 76-85.

Leštan, D. Remediation of toxic metal-contaminated soil using EDTA soil washing. V: Sherameti, Irena (ur.), Varma, Ajit (ur.). *Heavy metal contamination of soils : monitoring and remediation*. Cham; Heidelberg; New York: Springer, cop. 2015. Str. 395-429, ilustr. *Soil biology*, Vol. 44.

Suhadolc, M., Govednik, A., Turniški, R., Grčman, H. Od kakovosti tal do ekosistemskih storitev tal. *Geografski vestnik : časopis za geografijo in sorodne vede*. [Tiskana izd.]. 2022, 94, [št.] 2, str. 115-133, ilustr. ISSN 0350-3895. <https://ojs-gr.zrc-sazu.si/gv/article/view/8277>, Repozitorij Univerze v Ljubljani – RUL, Digitalna knjižnica Slovenije - dLib.si, DOI: 10.3986/GV94205.

Voglar, G. E., Finžgar, N., Voglar, D., Čič, M., Udovič, M., Leštan, D. Remediacija s strupenimi elementi onesnaženih tal = Remediation of soil contaminated with toxic elements. V: Grabner, B.(ur.), Ribarič-Lasnik, C. (ur.). *Onesnaženost okolja in naravni viri kot omejitveni dejavnik razvoja v Sloveniji - Celjska kotlina kot modelni pristop za degradirana območja = Environmental pollution and natural resources as a limiting factor for development in Slovenia - Celje basin as a model approach for degraded areas*. Celje: Inštitut za okolje in prostor, 2013. Str. 88-96.

Vrščaj, B., Bergant, J., Kastelic, P., Šinkovec, M., *Erosion in Slovenia : brief description and evaluation of significant soil degradation*. Ljubljana: Kmetijski inštitut Slovenije, 2022. https://www.kis.si/f/docs/Druge_publikacije/Erozija_brosura_ENG_s_CIP.pdf

Vrščaj, B., Kastelic, P., Bergant, J., Šinkovec, M. Ocena erozije na kmetijskih zemljiščih v Sloveniji = Assessment of agricultural soil erosion in Slovenia. V: Čeh, Barbara (ur.), et al. *Novi izzivi v agronomiji 2021 = New challenges in agronomy 2021 : zbornik simpozija = proceedings of symposium : spletni simpozij, 2021*. Ljubljana: Slovensko agronomsko društvo: = Slovenian Society of Agronomy, 2021. Str. 35-42.

Weil R.R. in Brady N.C. 2016. *The Nature and Properties of Soils*, Edition 15, Pearson Education, 912 str.

Zupan, M. Grčman, H., Lobnik, F. Raziskave onesnaženosti tal Slovenije. Ljubljana: Agencija RS za okolje, 2008. 63 str., ilustr. ISBN 978-961-6324-42-7. <https://www.gov.si/assets/organi-v-sestavi/ARSO/Tla/Publikacija-Raziskave-onesnazenosti-tal-Slovenije-1989-2007.pdf>

VSEBNOSTI TEŽKIH KOVIN V TLEH: INTERPRETACIJA GLEDE NA TVEGANJA, IZZIVI AKTUALNE IN POTREBNA ZAKONODAJA O ONESNAŽENJU TAL V SLOVENIJI

dr. Borut Vrščaj^{1 2}

¹Fakulteta za varstvo okolja, Trg mladosti 7, 3320 Velenje

²Kmetijski inštitut Slovenije; Hacquetova ulica 17, 1000 Ljubljana

borut.vrscaj@FVO.si

Povzetek

Prispevek uvodoma opozori na onesnaženost tal kot pomemben okoljski problem v Evropi in po svetu. V nadaljevanju predstavi nekatera strokovna dejstva, ki so pomembna za vrednotenje in obvladovanje onesnaženosti ter sanacijo tal; poda nekatera razmišljanja, ki v javni razpravi niso dovolj prisotna, so pa za sanacijo onesnaženih tal pomembna. Bistvene so predvsem: naravna ozadja težkih kovin (TK) v tleh, načini raznosa TK v okolju (razpršeno in točkovno onesnaževanje), različne poti TK od izvora v človekov organizem, posege v zemljišča, ki spreminjajo vsebnost TK, razporeditev TK v onesnaženih tleh, nacionalno zakonodajo ter interpretacijo mejnih vrednosti TK v tleh. V zaključku predstavi potrebe po nadgradnji slovenske zakonodaje, ki opredeljuje onesnažena tla.

Abstract

The paper first draws attention to soil pollution as a major environmental problem in Europe and worldwide. It then sets out some technical facts that are important for the assessment and management of pollution and for soil remediation. Some considerations are made, which are not sufficiently present in the public debate, but are important for the remediation of contaminated soils. Essential are: the natural background of heavy metals (HM) in the soil, the distribution of HM in the environment (diffuse and point source pollution), the different pathways of HM from the source to the human organism, interventions in the soil that change the HM content, the distribution of HM in contaminated soils, national legislation and the interpretation of HM limits in soil. Finally, it is argued that the Slovenian legislation defining contaminated soils needs to be improved.

Ključne besede: težke kovine, onesnažena tla

Keywords: heavy metals, contaminated soil

1. Ozadja in namen prispevka

Onesnaževanje tal je posledica dejavnosti človeka od prazgodovine do današnjih dni. Onesnaževanja tal ni mogoče pripisati samo industrijski dobi; ravno tako so se dogajala v srednjem veku, starem Rimu kot tudi v kamen dobi. Razlika je predvsem v naboru onesnaževal (naravnim snovem so se pridružile še umetne snovi) in seveda v obsegu onesnaževanja in onesnaženja.

Onesnaženje tal je resen problem, ki ga globalna skupnost v zadnjih letih intenzivno naslavlja (FAO, 2018b, 2018a; Soil Monitoring in Europe – Indicators and Thresholds for Soil Health Assessments, 2023; EU Parliament, 2021; Vlada RS, 2021; EU Action Plan Towards a Zero Pollution Ambition for Air, Water and Soil, 2020; Proposal for a Directive on Soil Monitoring and Resilience, 2023). Po svetu in v Evropi je za marsikoga presenetljivo število potencialno ali dokazano onesnaženih območij tal (Panagos idr., 2013). Evropska okoljska Agencija je za Evropo že leta 2016 navajala »V Evropi je lahko kar 2,5 milijona potencialno onesnaženih območij, ki jih je treba raziskati. Od tega se pričakuje, da bo približno 14% (340 000 območij) onesnaženo in bo verjetno zahtevalo sanacijo« (Slika 1). Onesnažena so tudi tla Slovenije. Nekatera območja ali lokacije so znane (Zupan idr., 2008; Vrščaj idr., 2017, 2022), druge verjetno še ne. Predvidevam pa, da se Slovenija prej uvršča med manj onesnažene države Srednje Evrope in upam, da nove raziskave in meritve onesnaževal v tleh predvidevanja ne bodo ovrgle.

Soil contamination widespread in Europe

News — Published 02 May 2014 — Last modified 21 Jun 2016 — 1 min read



Topics: Soil Industry Resource efficiency and waste

There are an estimated 340 000 contaminated pieces of land in Europe, most of which are yet to be identified, according to a new Europe-wide assessment.



Image © Paul CLPS

“ **Managing contaminated land in Europe costs an estimated € 6.5 billion per year. Much of this is paid by companies but there is also a high public cost.** ”

Hans Bruyninckx, EEA Executive Director

There may be as many as 2.5 million potentially contaminated sites across Europe, which need to be investigated. Of these, approximately 14 % (340 000 sites) are expected to be contaminated and likely to require remediation. Approximately one third of these contaminated sites have already been identified and around 15 % have been remediated. Traditional remediation involves excavating the contaminated soil and disposing of it in another location.

Slika 1: Ena zgodnejših ocen EEA o problemu onesnaženja tal ter stroških za sanacijo/remediacijo tal

Onesnaženost tal je treba sanirati ali pa pomembno zmanjšati tveganja, ki jih onesnažena tla predstavljajo v okolju. Okolje, tla, rabo tal je torej treba urediti in prilagoditi tako, da bomo lahko živeli brez ali zgolj s sprejemljivimi tveganji za zdravje človeka in okolja.

Sanacija onesnaženih tal je veliko in včasih (ali pogosto?) tudi neobvladljivo tehnično, finančno, logistično, izvedbeno, itd. breme za davkoplačevalce. Ne glede na to je treba raziskati onesnažena območja, poiskati možne metode in rešitve, sanirati tla ali pa pomembno zmanjšati tveganja za okolje in človeka. Videti pa je, da nam sanacije onesnaženih tal v Sloveniji nekako ne gredo »ravno od rok«. Zato bi veljalo preveriti, kako se sanacij onesnaženih tal lotevajo v drugih državah. Ugotoviti, kakšne so dobre prakse, kje so uspešni in kako?

Slovenska zakonodaja o onesnaženosti tal je definirana predvsem z Uredbo o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh (UL RS št. 68/1996; 41/2004), 1996), v nadaljevanju »Uredba96«, ki je stara skoraj 30 let. Zaradi novih ugotovitev o onesnaženjih tal, raziskavah naravnih ozadij, potrebnih sanacij tal na nekaterih območjih, zgledov primerljive zakonodaje v drugih državah, bi veljalo preveriti in nadgraditi tudi to zakonodajo v Sloveniji. Pri sanaciji tal in ocenjevanju tveganj, ki ga onesnaženje tal predstavlja, pa je treba upoštevati nekatera strokovna izhodišča, ki so pogosto spregledana, kakor tudi razmere in stanja v prostoru.

Zaradi problematike s težkimi kovinami (v nadaljevanju 'TK') onesnaženih tal v Celju se prispevek osredotoča predvsem na TK kot onesnaževala in izpušča druga anorganska in organska onesnaževala.

Namen tega prispevka je opozoriti na nekatera strokovna dejstva, ki so pomembna za vrednotenje in obvladovanje onesnaženosti ter sanacijo tal in podati nekatera razmišljanja, ki v javni razpravi niso dovolj prisotna, so pa pomembna. Med te štejem predvsem: naravna ozadja, različne poti TK od izvora do človeka, razporeditev TK v tleh, nacionalno zakonodajo, interpretacijo mejnih vrednosti TK v tleh ter potrebe po nadgradnji zakonodaje.

2. Težke kovine v tleh

2.1 Naravna ozadja TK v tleh

Naravna ozadja so vsebnosti prvin (kemijskih elementov), ki so naravno prisotne v tleh. TK so ravno tako prvine in se torej pričakovano nahajajo v tleh in v okolju. Izvor TK v tleh so primarni minerali in iz mineralov sestavljene kamnine. Kemijska sestava, pa tudi druge lastnosti mineralov so natančno določene. Vsebnost TK v kamninah pa je seveda odvisna od zastopanosti posameznih mineralov v njih. Kamnine so sestavljene iz bistvenih mineralov, ki v posamezni kamnini prevladujejo in spremljajočih mineralov, ki so v kamninah prisotni v bistveno manjših deležih. Kot primer lahko navedemo apnenec, najpogostejšo kamnino v Sloveniji. Bistven mineral apnenca je kalcijev karbonat (CaCO_3). Apnenec pa vsebuje tudi manjše količine mineralov s kadmijem. Tako je tudi kadmij naravno prisoten v apnencih. Z raztapljanjem apnenca (oz. s preperevanjem kamnin) se sledne prvine sproščajo iz mineralov in se vežejo na talne delce (na minerale glin) ali v talno organsko snov (TOS). Na nekaterih območjih, kjer so prisotne kamnine ali sedimenti z več TK, upravičeno pričakujemo večje naravne vsebnosti TK v tleh.

Sledne prvine, torej tudi TK, so naravno prisotne v tleh. Največkrat so količine zelo nizke in težko določljive tudi z modernimi analitskimi metodami. Lahko pa so vsebnosti posameznih TK v tleh naravno povišane ali celo naravno zelo visoke.
--

Kot tak primer povišanih naravnih ozadij navajamo vsebnost niklja (Ni) v tleh Primorske, kjer meritve nakazujejo, da naravne vsebnosti Ni v tleh presegajo celo opozorilno vrednost (torej mejo za onesnaženost) za Ni, kot jo določa Uredba96.

Slovenski geologi in geokemiki so desetletja izvajali raziskave geokemične sestave tal. Rezultate raziskav - naravna (oz. geokemična) ozadja prvin v tleh Slovenije - so zajeli v daljšem znanstvenem članku Geokemično ozadje in zgornja meja naravne variabilnosti 47 kemičnih elementov v zgornji plasti tal Slovenije (Gosar idr., 2019). Nedvomno je prispevek referenčen dokument za presojo naravnih vsebnosti TK v tleh. Na podlagi naravnih vsebnosti pa je možna ocena tistih količin TK, ki jih je skozi zgodovino z vsemi svojimi dejavnostmi prispeval človek in jih imenujemo onesnaževanje.

Presoja onesnaženja tal s TK, kakor tudi presoja vsebnosti TK v tleh, mora nujno zajeti oceno naravnih ozadij TK v tleh.

Slika 2 prikazuje primer izrisa interpretacije vsebnosti bakra (Cu) v tleh, primerjavo z naravnimi ozadji za Cu in kako so te vrednosti umeščene glede na mejno, opozorilno in kritično imisijsko vrednost Cu v tleh po Uredbi96.



Slika 2: Primer interpretacije – ponazoritve vsebnosti Cu v tleh z upoštevanjem naravnih ozadij

Slika ponazori izmerjene vsebnosti Cu (zgornji siv pas; geokemično (oz. naravno) ozadje Cu za regijo v kateri je odvzet vzorec in povprečno naravno ozadje za Cu v Sloveniji. Ozadje grafa je obarvano glede na območja. Zeleno: vsebnosti so v okviru naravnih ozadij; rumeno: povišane vsebnosti; rdeče: onesnaženo in vijolično: kritično onesnaženo. Območja razmejujejo mejna imisijska vrednost (MV) 60 mg/kg s.s. tal, opozorilna imisijska vrednost (OIV) 100 mg/kg s.s. tal in kritično imisijska vrednost (KIV) 300 mg /kg s.s. tal.

2.2 Izvor, vsebnosti v tleh in poti težkih kovin od izvora do človeka

2.2.1 Točkovno in razpršeno onesnaževanje

Rezultat onesnaževanja (aktivnost) je onesnaženje (stanje). Za namen tega prispevka se osredotočamo na onesnaženje površinskega dela tal. Ločimo točkovno in razpršeno onesnaževanje tal.

Točkovno onesnaževanje je povezano z odlaganjem snovi in gradiv, ki vsebujejo onesnaževala. Tipično gre za odpadke industrijskega pa tudi komunalnega izvora, odlaganja drugih snovi in razlitja. Pri točkovnem onesnaževanju so povečane vsebnosti onesnaževal v tleh največkrat precej ostro omejene v prostoru – meje onesnaženja so največkrat definirane.

Razpršeno onesnaževanje predstavlja vnos onesnaževal v tla kot zračnega depozita ali sedimenta padavinske ali poplavne vode. Izvor onesnaževanja so nepremični točkovni viri (npr. tovarniški

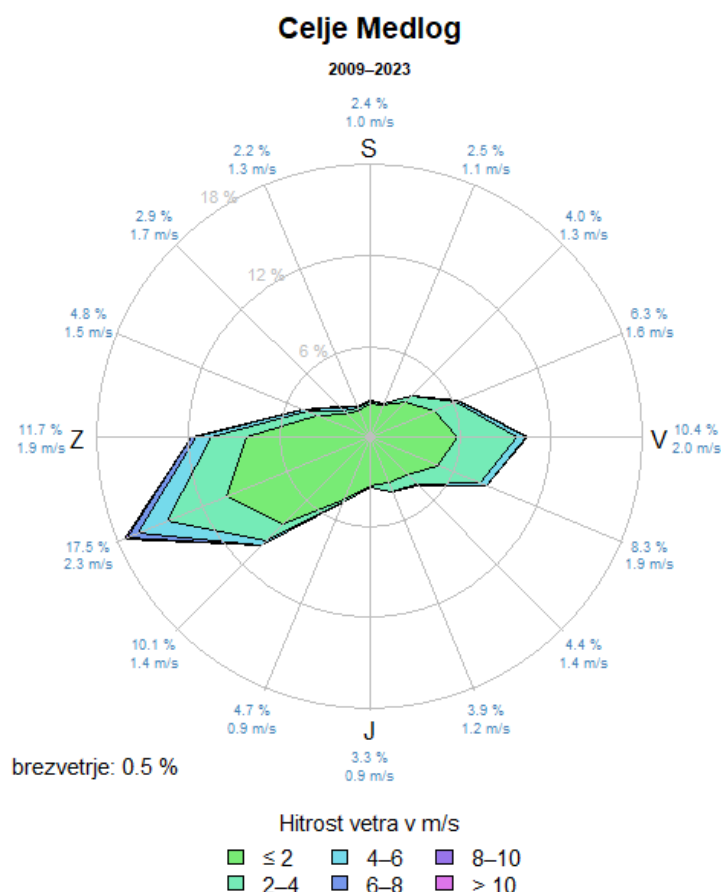
dimniki) ali premični točkovni viri (npr. vozila). Samo onesnaženje tal se z oddaljenostjo od vira zmanjšuje. Meje onesnaženja so največkrat težko določljive.

Vetrovna roža je prikaz smeri in moči vetra na določenem območju v določenem časovnem obdobju. Primer vetrovne rože Celja prikazuje Slika 3.

Bistvene razlike med razpršenim onesnaževanjem in točkovnim onesnaženjem tal so: smeri in razporeditev (intenzivnost) onesnaženja v površinskih slojih tal ter vsebnosti onesnaževala glede na globino tal.

V primeru razpršenega onesnaževanja se vsebnost onesnaževala v površini tal zmanjšuje v oddaljenosti od vira predvsem v obliki vetrovne rože, torej je poudarjeno v smereh prevladujočih vetrov. Vsebnosti TK v tleh torej niso v korelaciji s samo oddaljenostjo, pač pa so kombinacija oddaljenosti točke emisije (tovarniškega dimnika) in vetrovne rože.

Glede na prevladujoče vetrove na območju mesta Celje in ob predvidevanju, da je vsaj podobna vetrovna roža veljala tudi v času najbolj intenzivnih emisij dimnika Cinkarne Celje, bi utemeljeno pričakovali večje vsebnosti TK v tleh v pretežni smeri zahod in manjši meri vzhodno od Cinkarne ter v bistveno manjši meri južno in severno od Celja.



ARSO, 2024

Slika 3: Vetrovna roža avtomatske meteorološke postaje Medlog pri Celju
Vir ARSO, 2004 <https://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/diagrams/wind/celje-medlog/>

2.2.2 Posegi v onesnažena tla in premeščanje tal s TK

Premeščanje tal in posledice. Razvoj mest temelji na gradnjah zgradb in prometnic in zatem različnih vrstah urejanja zemljišč. Pri vseh teh dejavnostih posegamo v tla. Odstranjujemo in odvažamo vrhnje sloje tal, navažamo tla z drugih lokacij; tla mešamo, pri čemer vrhnje sloje premestimo globlje; v tla vnašamo različne snovi; v tleh ostajajo bolj ali manj prekriti ostanki gradenj, smeti in snovi, ki lahko vsebujejo tudi onesnaževala.

Odvažanje vrhnjih slojev/horizontov tal, ki so bili pred desetletji onesnaženi, odstrani tudi pomemben del TK, ki jih tla zadržijo predvsem v vrhnjih 5 cm tal. V kolikor vzorčimo na lokacijah z odstranjenimi vrhnjimi onesnaženimi horizonti, ugotovimo manjše vsebnosti TK v primerjavi s tlemi zemljišč v neposredni soseščini, kjer površina tal ni bila odstranjena.

Lahko pa med rekultivacijo in urejanjem zelenic v mestu navozimo zemljo z druge, bolj ali manj oddaljene lokacije. V primeru da ta zemlja ni onesnažena s TK, vzorčenje in analiza tal te lokacije ravno tako prikaže manjše vsebnosti TK v tleh. Zgodi pa se tudi, da z druge lokacije pripeljemo onesnažena tla. Pogosto gre predvsem vrhnje in humozne horizonte, ki na videz obetajo uspešno ozelenitev, v resnici pa vsebujejo povečane količine TK ali so celo močno onesnažena s TK.

Točkovno onesnaževanje z vnosi različnih snovi. Posamezne (mikro) lokacije oz. zemljišča so lahko ekstremno onesnažena s TK v primeru, ko je nekdo v preteklosti v tla vnesel snovi oz. odpadne surovine, največkrat z namenom 'izboljšanja' rodovitnosti tal. Pri tem se zaradi pomanjkanja znanja in vedenja o vsebnosti TK snovi ni zavedal, da s tem v svoje bivalno okolje ali celo na vrtove vnaša zelo problematične količine TK. V takem premeru gre za dodatno točkovno onesnaženje tal.

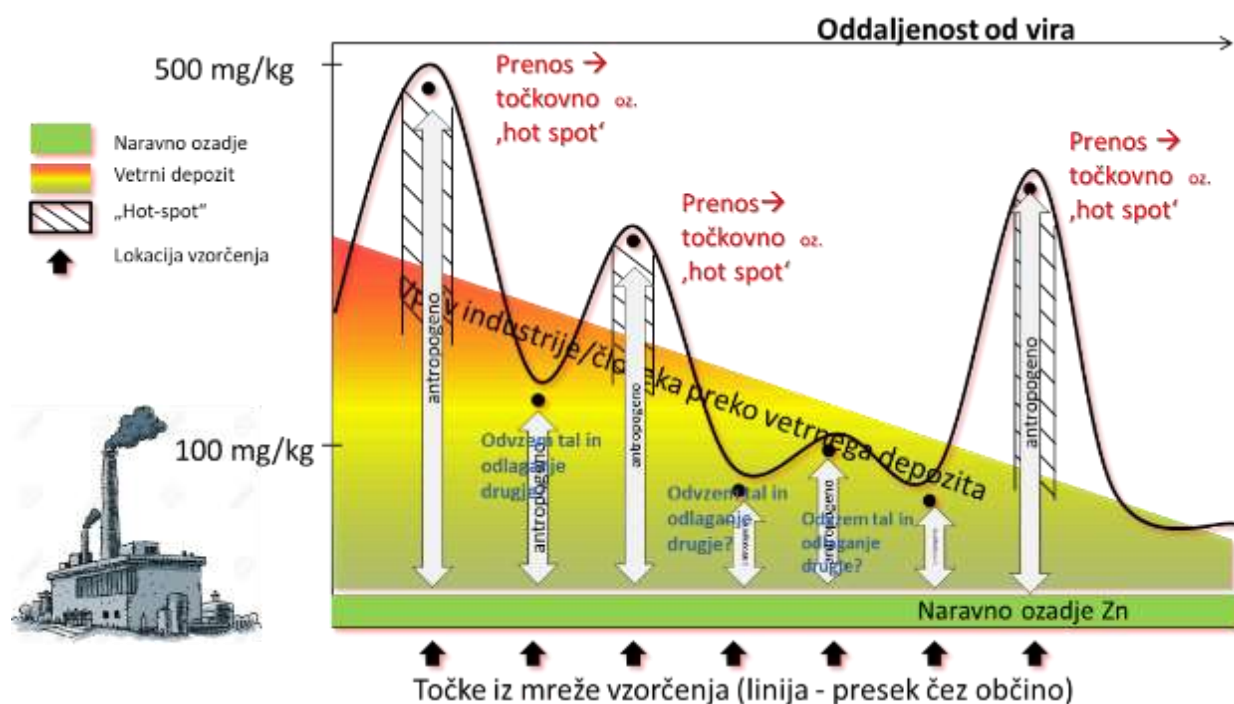
Tla v mestu, ki so onesnažena s TK zaradi razpršenega onesnaževanja (npr. iz tovarniškega dimnika) čez čas (npr. desetletja) zaradi različnih posegov v tla ne izkazujejo več predvidljivih količin TK, pač pa se vsebnost TK lahko zelo razlikuje od zemljišča do zemljišča predvsem zaradi odstranjevanja, navažanja, zamenjave ter vnosov različnih snovi in gradiv v tla.

Slika 3 ponazarja vsebnost TK v tleh, ki naj bi se teoretično zmanjševala z oddaljenostjo od izvora onesnaževanja. Izmerjene vsebnosti TK pa predviden vzorec razpršitve onesnaževanja ne potrjujejo. Lahko so višje zaradi dodatnega točkovnega onesnaževanja ali nižje zaradi odstranjevanja onesnaženih tal.

Napoved vsebnosti TK v mestnem prostoru po desetletjih posegov v tleh je negotova in je lahko le okvirna. T.i. 'hot spot' – točkovna onesnaženja lahko pričakujemo marsikje in hkrati ni nujno, da zemljišča v bližini vira onesnaženja vsebujejo zelo visoke vsebnosti TK. Ugotovitev je pomembna še posebej zaradi dandanašnje relativno lahke in pogosto uporabljene izdelave kart onesnaženosti tal z GIS geostatističnimi metodami (Vrščaj idr., 2002).

Sama uporaba geostatistike, npr. kriginga ali katerekoli druge geostatistične metode, brez dodatnih informacij daje negotove napovedi. Nastale karte onesnaženosti lahko služijo samo kot vodilo, nikakor pa ne morejo biti relevantna informacija o dejanski onesnaženosti posameznih zemljišč v mestu. Sanacija prostora, ki bi temeljila samo na takšnih informacijah, bi lahko bila zgrešena, ne dovolj neuspešna. Primernost (neonesnaženost) tal s TK pa tudi drugimi onesnaževali lahko potrdi samo ustrezna kemijska analiza.

Vsebnost TK v tleh je možno le okvirno napovedovati zaradi različne intenzitete onesnaževanja skozi čas, prostorskega vzorca onesnaževanja, prevladujoče smeri in jakosti vetrov v preteklosti ter (mnogih) nedokumentiranih posegov človeka v površino tal zemljišč.



Slika 4: Teoretične in izmerjene vsebnosti TK v površinskih slojih tal v oddaljenosti od vira emisij

2.3 Pričakovane in dejanske vsebnosti TK v tleh Celja

V primeru MO Celje je razpršeno onesnaževanje primarno določeno s količino TK v emisijah dimnikov in s prevladujočo smerjo raznosa dimnih plinov. Tudi onesnaženost tal posameznih zemljišč v Celju je v skladu s prejšnjim ugotovitvami težko napovedati. Predvidevam, da je Slika 4 ustrezna ponazoritev stanja onesnaženosti tal tudi v Celju. Prostorsko gledano, gre za preplet srednje do manj onesnaženih tal, med katere so posejane površine z neonesnaženimi tlemi ali pa ekstremno onesnaženimi. Iskanje takih lokacij, z namenom sanacije, je časovno in finančno (zelo) zahtevno.

Posebej je treba opozoriti, da je do primerov točkovnega vnosa snovi s TK v tla prihajalo tudi v Celju. Ustni viri namreč pravijo, da so meščani v preteklosti uporabljali (močno onesnaženo) žlindro Cinkarne kot dodatek tlom, ki naj bi izboljšal težka glinasta tla (npr. uredili so parkirišča ob blokkih, prehode čez zelenice, itd.). Med vzorčenjem tal v Celju (Lobnik idr., 1989) smo na nekaterih zemljiščih v tleh zaznali žlindro oz. žlindri podobne ostanke.

Posegi v tla, v smislu morebitnih vnosov onesnaževal, niso dokumentirani in tako informacije, ki bi bile koristne za morebitne sanacije tal, niso dostopne. Lepo vzdrževana zelenica ni zagotovilo, da so tla primerne kakovosti in primerna za dejansko vrsto rabe tistega prostora.



Slika 5: »Stanje na terenu« lokacija stare Cinkarne Celje v leta 2020
Vir: Vrščaj, 2020

2.4 Poti onesnaževal iz tal v človeka

Z onesnaževanjem se TK kopičijo predvsem v vrhnjih slojih tal. Ker gre za katione, so TK dobro vezane na negativno nabite delce glin in v talno organsko snov (humus). Iz glinastih delcev se sproščajo oz. izmenjujejo z drugimi ioni v talno tekočino, kjer so dostopne koreninam oz. talni bioti. Načeloma se TK slabo izpirajo v podzemne vode, kar še posebej velja za globoka meljasta ali glinasta tla. TK prehajajo in se razširjajo v okolje predvsem iz površinskega sloja tal. Vetrna erozija raznaša s TK onesnažene prašne delce tal, ki lahko vdihujejo ljudje in živali ali pa jih veter premešča na druga zemljišča, lahko tudi oddaljena. TK se iz tal premeščajo tudi z premeščanjem biomase.

Obstaja pet glavnih poti TK iz tal v človeka. Če jih navedemo po pomembnosti:

1. **Zaužitje onesnaženih tal** - neposreden vnos onesnaženih tal (predvsem pri otrocih). Zaužitje talnih delcev in s tem TK poteka preko umazanih rok (~ 0,5 g dnevno). Prisotno je na zemljiščih, kjer se otroci igrajo, torej otroških igriščih. Ne gre zanemariti tudi prehranske motnje, ko nekateri tla tudi občasno namenoma zaužijejo. Zaužitje onesnaženih tal s TK je veliko tveganje, ker se v kisli želodčni tekočini TK s talnih delcev 'ekstrahirajo', sprostijo ter preko sluznic preidejo neposredno v krvni obtok, ki jih premesti v druge organe.
2. **Vnos v telo s hrano**, pridelano na onesnaženih kmetijskih površinah in onesnaženih mestnih vrtičkih. Velja opozoriti, da je pogosto uživanje listnate zelenjave (solata, endivija, rukvica, ipd.) pridelane na onesnaženih vrtovih, lahko precej tvegano, kar pa je treba presojati glede na količine zaužite zelenjave s tega vrta. Tveganja pridelave posameznih skupin vrtnin na onesnaženih tleh za zdravje človeka, kakor tudi ukrepi za zmanjšanje tveganj, je predstavljeno na spletni strani MO v Celje (Vrščaj, 2017).
3. **Vdihovanje onesnaženih talnih delcev** je vnos TK v telo preko pljuč. Tveganje je v tem primeru manjše zaradi same poti in mehanizmov odstranjevanja talnih delcev s sluzjo. Prisotno je predvsem na in v bližini ogolelih površin z onesnaženimi tlemi. Učinkovit ukrep preprečevanja raznosa prahu je zatavljanje površin in skrb za gosto travno rušo.
4. **Kožni kontakt** in prehod TK skozi kožo je prisoten tam, kjer ljudje pridemo v tesen stik s tlemi; torej predvsem na otroških igriščih, vrtovih, njivah in športnih površinah. Zaradi omejenega prehoda TK skozi kožo, je tudi ta pot manj tvegana.

Premeščanje TK iz vrhnjih slojev tal v druge dele okolja zajema predvsem:

- spiranje/premeščanje TK iz površinskih horizontov tal v podzemne vode in posledično morebiten vnos v človeka preko pitne vode. Tveganja so prisotna predvsem tam kjer je propustno podtalje in neposreden kontakt s podzemnimi vodami;
- prenos/premeščanje preko živali (kontaminacija živali) in rastlin (raznos listja);
- premeščanje z vodno erozijo → onesnaževanje širšega okolja in površinskih voda.

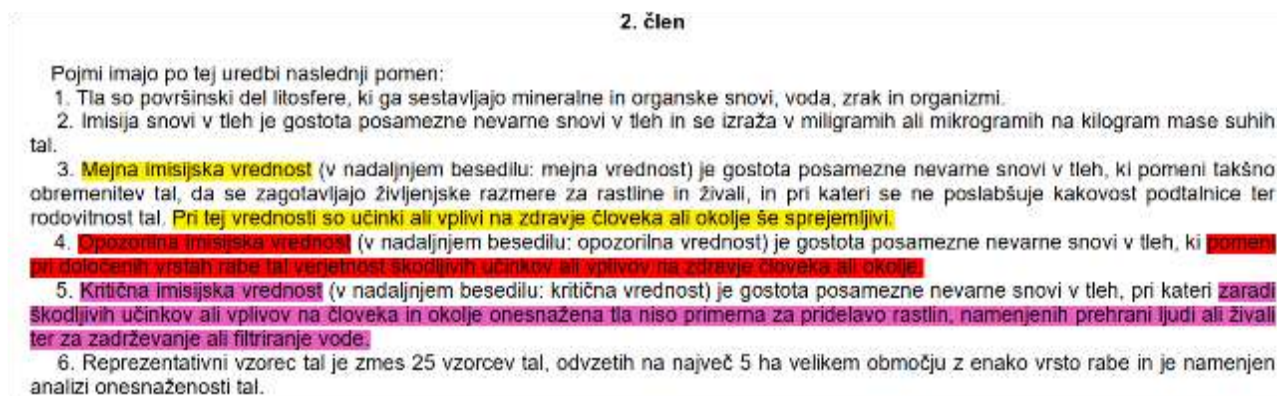
3. Uredba o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh (UL RS 96)

Glavnino slovenske zakonodaje, ki določa onesnaženost tal, predstavlja uvodoma omenjena Uredba o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh ((UL RS št. 68/1996; 41/2004), 1996). »Uredba96« vsebuje nabor anorganskih in organskih onesnaževal: deset težkih kovin (As, Cd, Cu, Co, Hg, Mo, Ni, Pb, Zn, ter celokupni Cr in šestvalentni Cr⁺), anorganske spojine s fluorom (F), aromatske spojine, policiklične aromatske ogljikovodike (PAH), klorirane ogljikovodike, poliklorirane bifenile (PCB), insekticide na bazi kloriranih ogljikovodikov (predvsem DDT z derivati), herbicida atrazin in simazin ter ogljikovodike, ki izvirajo iz nafte in mineralnih olj. Nabor onesnaževal torej zajema snovi, ki so prisotne v naravi in za njih obstajajo naravna ozadja, kakor tudi umetne snovi, ki preden jih je človek izumil in v naravi niso bila prisotna - torej naravna ozadja ne obstajajo.

Vsako onesnaževalo je določeno s tremi vrednostmi, ki so pojasnjene v uvodu Uredbe96:

- **Mejna imisijska vrednost,**
- **Opozorilna imisijska vrednost** ter
- **Kritična imisijska vrednost.**

Slika 6 prikazuje besedilo Uredbe 96, ki pojasnjuje mejno, opozorilno in kritično imisijsko vrednost. Za namene tega prispevka se bomo osredotočili le na anorganska onesnaževala, torej TK.



Slika 6: Besedilo v Uredbi 96, ki pojasnjuje mejno, opozorilno in kritično imisijsko vrednost

3.1 Interpretacija imisijskih vrednosti Uredbe 96

Mejna imisijska vrednost (MIV) predstavlja povišano vsebnost TK v tleh glede na naravno ozadje. Vplivi na človeka in okolje so še sprejemljivi. MIV torej ni meja ob kateri za Slovenijo velja, da so tla s TK onesnažena.

Opozorilna imisijska vrednost (OIV) je vsebnost TK v tleh, pri kateri obstaja verjetnost škodljivih učinkov pri določeni vrsti rabe tal. Žal rabe tal niso navedene in škodljivi učinki ter

poti TK v človeka v uredbi niso pojasnjeni. Vendar je glede na verjetnost škodljivih učinkov OIV vrednost, pri kateri tla veljajo za onesnažena.

Kritična imisijska vrednost (KIV) je tista vsebnost TK v tleh pri kateri »zaradi škodljivih učinkov ali vplivov na človeka in okolje onesnažena tla niso primerna za pridelavo rastlin, namenjenih prehrani ljudi ali živali ter za zadrževanje ali filtriranje vode«. Uredba96 torej s KIV določa, kdaj tla niso primerna za pridelavo hrane oz. kdaj so tla tako onesnažena, da so tveganja za slabo kakovost podzemnih voda. Torej bi jih bilo treba sanirati.

Na kratko bi lahko povzeli (Slika 7, Slika 8):

- **MIV:** povišana, a še sprejemljiva vsebnost TK, tla so še neonesnažena.
- **OIV:** obstaja verjetnost škodljivih vplivov na človeka, torej tla so onesnažena.
- **KIV:** škodljivi učinki in vplivi so prisotni, tla so neprimerna za pridelavo hrane, ker so močno onesnažena.



Slika 7: Interpretacija vsebnosti TK z uporabo imisijskih vrednosti Uredbe96 - primer za baker v neonesnaženih tleh

	Povišana vsebnost	Opozorilna vrednost	Kritična vrednost
	TK v okviru naravnih ozadij	Povišane vsebnosti TK	Onesnažena tla
	Vsebnost težkih kovin v tleh		
	Po Uredbi o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih naravnih snovi v tleh (EU/RS št. 68/96)		
Težka kovina	Vsebnost kovine v tleh ne presega mejne imisijske vrednosti	Vsebnost kovine v tleh presega mejno imisijsko vrednost	Vsebnost kovine v tleh presega opozorilno imisijsko vrednost
Cd	(v mg / kg suhih tal) <1	(v mg / kg suhih tal) ≥1	(v mg / kg suhih tal) ≥ 2
Zn	<200	≥ 200	≥ 300
Pb	<85	≥ 85	≥ 100
As	<20	≥ 20	≥ 30
Co	<20	≥ 20	≥ 50
Cr	<100	≥ 100	≥ 150
Cu	<60	≥ 60	≥ 100
Hg	<0,8	≥ 0,8	≥ 2
Mo	<10	≥ 10	≥ 40
Ni	<50	≥ 50	≥ 70
Status glede na Uredbo	Tla so neonesnažena	Tla še neonesnažena a povišane vsebnosti narekujejo previdnost	Tla so onesnažena
			Tla so močno onesnažena

Slika 8: Interpretacija imisijskih vrednosti TK po Uredbi96

3.2 Interpretacija imisijskih vrednosti v javnosti in terminološke zadrege Uredbe96

V javnosti in medijih včasih zasledimo napačno interpretacijo imisijskih vrednosti Uredbe96. Namreč, da so tla onesnažena, ko vsebnost TK preseže MIV in ne ko preseže OIV.

Verjetno je razlog za to tudi nerodno poimenovanje teh dveh imisijskih vrednosti. Menim, da bi morala biti izraza »mejna« in »opozorilna« zamenjana. Po sedanji opredelitvi je MIV tista, ki opozarja, da gre za povišano vsebnost glede na naravna ozadja TK v tleh in OIV tista, ki predstavlja mejo neonesnaženo / onesnaženo. Predvidevam, da bi bilo manj napačnih interpretacij, če bi se sedanja MIV imenovala »opozorilna«, ker opozarja in bi se sedanja OIV imenovala »mejna« imisijska vrednost, ker gre za mejo onesnaženo/neonesnaženo.

Uredba96 ima, kar se tiče TK, še dodatno terminološko nedoslednost. Izraz »imisijski« nakazuje dotok/vnos snovi v tla. Po Fran je »imisijska« (i): vnašanje onesnaženih snovi v okolje, zlasti v ozračje: analiza, meritve imisij; zmanjševanje imisij.« (Fran/iskanje/imisija, b. d.). Po Uredbi96 torej privzamemo, da so celotne izmerjene vsebnosti TK v tleh imisija, torej prispevek človeka. V resnici pa rezultat analize TK v tleh zajema tako naravno ozadje kot tudi imisijo, torej 'prispevek' / onesnaževanje s strani človeka.

Zaradi terminoloških razlogov opredelitve mejnih vrednosti onesnaževal v Uredbi96 občasno prihaja do napačnih interpretacij izmerjenih vsebnosti TK v tleh in posledično do nerazumevanja tveganj za človekovo zdravje. Tudi zato bi veljalo posodobiti in nadgraditi Uredbo96.

3.3 Mejne vrednosti v zakonodaji temeljijo na ekstrakciji z zlatotopko (Aqua regia)

Določanje vsebnost TK v tleh zajema predvsem dva koraka:

1. ekstrakcijo TK iz homogeniziranega suhega in uprašenega vzorca tal v raztopino (ekstrakt) ter
2. meritev TK v raztopini.

Ekstrakcija TK iz vzorca tal poteka z zlatotopko, Aqua regio, ki je mešanica dveh zelo močnih kislin (HNO_3 in HCl). Zlatotopka je močno korozivna zmes, ki razgradi večino mineralnih struktur v tleh in topi večino kovin. Med ekstrakcijo se kovine sprostijo s površin talnih delcev (mineralov glin, organske snovi), razpade tudi velika večina mineralov in s tem se sprostijo tudi kovine, ki so bile vezane v mineralih in nedostopne. V ekstrahirani tekočini so prisotne praktično vse kovine, ki so v tleh: tiste relativno slabo vezane na površino talnih delcev in tiste, ki so močno vezane in v običajnih razmerah v tleh nedostopne rastlinam in drugi bioti. Zato metodo ekstrakcije z zlatotopko pogosto spremlja tudi oznaka »pseudo-total«. Rezultat meritve je namreč skupna vsebnosti (pseudo-total) TK v tleh.

Vsebnosti TK v tleh, ki jih ugotovimo z zlatotopko, so dostopne rastlinam in bioti le teoretično in predvsem ob drastični spremembi pogojev v tleh (npr. ekstremno zakisanje tal, redukcijske razmere, t.j. mokra oz. dlje časa poplavljen tla).

Metoda določitve TK v tleh po zlatotopki/Aqua regiji/»pseudo-total« zajema praktično celotno vsebnost TK v tleh: tiste, ki so relativno slabo vezane v tleh in zato izmenljive ter dostopne rastlinam, kot tiste, ki so vezane v mineralih in so v običajnih razmerah v tleh nedostopne, imobilizirane.

Mejne vrednosti za onesnažena tla se v državah po svetu in v EU močno razlikujejo. Vsebnost, za katero v neki državi velja, da so tla onesnažena, v drugi državi velja, da tla niso onesnažena. Analogno velja tudi za rabo tal.

4. Potrebe po nadgradnji zakonodaje v Sloveniji

Kot že omenjeno in iz navedenega lahko sklepamo, da bi veljalo Uredbo⁹⁶ nadomestiti s sodobnejšo uredbo, ki bi zajemala nova znanja, ugotovitve, dobre zgleds in prakse drugih držav. Potrebno bi bilo upoštevati rabo tal in pripraviti različne mejne vrednosti za stanje 'onesnažena tla' v skladu z rabo tal, kar pa pomeni, da se upoštevajo poti TK iz tal v človeka in okolje. Iz literature bi bilo treba povzeti mejne vrednosti, ki temeljijo na toksikoloških modelih. Upoštevati bi bilo treba ugotovitve študij o obstojnosti onesnaževal (ne velja za TK), prenosljivosti in raznosu TK (vetrna, vodna erozija, izpiranja, raznosa s strani človeka itd.)

Poizkus posodobitve slovenske zakonodaje v smeri tveganja vnosa onesnaževal v človeka glede na vrsto rabe (otroška igrišča, kmetijske površine/hrana, bivalna območja, industrija, promet,...) smo v Sloveniji že opravili. Ocenjujem, da je bil Predlog uredbe o stanju tal iz leta 2016/2017 primeren, strokoven in primerljiv z naprednimi zakonodajami drugih držav. Žal je bil v javnosti predvsem zaradi negativne kampanije t.i. naravovarstvenih organizacij zavrnjen in, tako je videti, opuščen. Na mestu je tudi pripomba, da so bili očitki v največji meri neupravičeni in so kazali na nerazumevanje, zmote in nepoznavanje področja in specifik onesnaženosti tal.

5. Razprava

Javne razprave, mediji ter politika. V javnosti je (občasno) precej govora o onesnaženih tleh. Nekateri smo si v desetletjih takšnih razprav izoblikovali mnenje, da gre prej za 'histerijo v valovih' kot strokovno umirjen javni diskurz. Rekli bi, da je onesnaženost tal »imenitna tema za medije«. Moja osebne izkušnje temu nekako pritrujejo. Npr.: Ob dogodku potencialnega onesnaženja tal je novinarka nacionalne televizije zaprosila za strokovno izjavo o tveganjih in onesnaženosti tal v Sloveniji. Njen komentar ob pojasnilih, da 'ni tako hudo' je bil nekako takšen: »Če je pa vse v redu, pa ni zanimivo«. In izjava, da raziskave kažejo, da imamo v Sloveniji relativno malo onesnaženih tal in da so tveganja za človeka praviloma majhna ali jih ni, ni bila objavljena.

Uspešna sanacija in remediacija tal je v veliki meri odvisna od kakovosti in strokovnosti javne razprave. Stroka mora poiskati načine, kako relativno zapletena strokovna vprašanja na razumljiv način predstaviti javnosti ter predvsem povečati zaupanje javnosti do strokovnih ugotovitev. Ravno tako je medijem pogosto težko interpretirati in pravilno podati strokovne informacije. Pri medijih bi si želeli predvsem to, da 'se tudi dobra novica dobro predstavlja in prodaja'. Torej manj senzacionalizma in več korektnih informacij o dobrih in uspešnih rešitvah. Videti je tudi, da onesnaženost tal in obljube sanacij hitro postanejo tema političnega uveljavljanja, iskanja žarometov, in, tudi 'vznemirjanja' prebivalstva predvsem s političnimi cilji. Po končanih volitvah pa diskusije in obljube nekako potihnejo.



Slika 11: Komentar – nekorektna insinuacija v prispevku nacionalne RTV ob nastajanju nove uredbe o stanju tal leta 2016

Remediacija in sanacija onesnaženih tal v Sloveniji. Mnenja sem, da v Sloveniji, kar se tiče remediacije in sanacije tal, stopicamo na mestu. Zato bi veljalo raziskati, kako postopajo v razvitih državah zahodne Evrope; npr. v Franciji, Veliki Britaniji, Nemčiji, Nizozemskem, itd. Kakšna je njihova zakonodaja? Kakšne so mejne vrednosti za onesnaževala v tleh in predvsem, kako sanirajo tla - katere metode sanacije onesnaženosti tal so se izkazale za uspešne v njihovih primerih in kako so preverili vplive onesnaženih tal na človeka in okolje pred in po sanaciji? Precej je pomembnih vprašanj. Torej, pogledjmo k uspešnejšim in industrijsko razvitim državam, kjer je bistveno več onesnaženih tal ter proučimo njihovo zakonodajo in zlasti konkretne primere dobrih praks sanacije tal.

Zakaj pa pri nas stvari ne delujejo? Je v Sloveniji tudi premalo strokovnega in načrtnega pristopa? Premalo sredstev? Premalo znanja in vedenj? Ali pa v diskusijah in aktivnosti zgolj vključene premalo stroke? Vsekakor pa sem mnenja, da je javnost bistveno premalo in strokovno slabo obveščena o možnih in realnih tveganjih, ki jih predstavljajo onesnažena tla za okolje, živali, človeka.

Predvsem pa: Stanje tal v Mestni občini Celje in širše je treba izboljšati; tla sanirati in/ali zmanjšati zdravstvena tveganja za človeka in za okolje. Ozelenitev degradiranih prostorov/zemljišč je nujna, a mora le-ta temeljiti na meritvah in izkazati preverljivo izboljšano kemijsko stanje tal. Sanacije in remediacije je potrebno podkrepiti z analizo tveganj, ki jih za človeka in okolje predstavljajo TK v tleh: kako so ta tveganja prisotna na zemljiščih z različnimi vrstami rabe ter kakšna je realna in potencialna izpostavljenost prebivalcev.

6. Zahvale

Žanu Rijavcu se zahvaljujem za pregled tuje zakonodaje o onesnaženost tal in za izdelavo grafičnih ponazoritev mejnih vrednosti ter za interpretacije vsebnosti TK v tleh. Katji Črnc se zahvaljujem za skrbno branje in dobrodošle popravke.

7. Viri in literatura

EU Action Plan Towards a Zero Pollution Ambition for air, water and soil. (2020, oktober 29). Have Your Say. <https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12588-EU-Action-Plan-Towards-a-Zero-Pollution-Ambition-for-air-water-and-soil>

EU Parliament. (2021, november 17). EU Soil Strategy for 2030. https://ec.europa.eu/environment/publications/eu-soil-strategy-2030_en

FAO (Ur.). (2018a). Be the solution to Soil Pollution—Proceedings. Food And Agriculture Organization Of The United Nations.

FAO. (2018b). Soil pollution: A hidden reality. (Let. 2018). Food And Agriculture Organization Of The United Nations.

Fran/iskanje/imisija. (b. d.). Fran. Pridobljeno 27. januar 2025, s <https://www.fran.si/iskanje?View=1&Query=imisija>

Gosar, M., Šajn, R., Bavec, Š., Gaberšek, M., Pezdir, V., & Miler, M. (2019). Geochemical background and threshold for 47 chemical elements in Slovenian topsoil. *Geologija*, 62(1), Article 1. <https://doi.org/10.5474/geologija.2019.001>

Lobnik, F., Hrustel-Majcen, M., Zupan, M., Vrščaj, B., Ruprecht, J., Šporar, M., Hodnik, A., Trobiš-Lednik, M., Prus, T., Kastelec, D., Kočevár, H., Hudnik, V., & Vučko, H. (1989). Soil pollution map of Celje County (str. 44) [Poročilo za MOP za leto 1992]. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za Agronomijo.

Panagos, P., Van Liedekerke, M., Yigini, Y., & Montanarella, L. (2013). Contaminated Sites in Europe: Review of the Current Situation Based on Data Collected through a European Network. *Journal of Environmental and Public Health*, 2013, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2013/158764>

Proposal for a Directive on Soil Monitoring and Resilience, Pub. L. No. COM(2023), 69 (2023). https://environment.ec.europa.eu/publications/proposal-directive-soil-monitoring-and-resilience_en

Soil monitoring in Europe – Indicators and thresholds for soil health assessments. (2023, januar 18). <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/soil-monitoring-in-europe>

Uredba o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh= Decree on limit, warning and critical immission values of contaminants in soil (UL RS št. 68/1996; 41/2004), Pub. L. No. UL RS št. 68/1996; 41/2004, 10 (1996).

Vlada RS. (2021, december 7). Stališče Vlade RS do Strategije EU za tla za leto 2030. Vlada RS.

Vrščaj, B. (2017). OKOLJE IN PROSTOR TER PROMET. <http://moc.celje.si/okolje/8-staticne-strani/4219-priporocila-in-ukrepi-za-varno-pridelovanje-vrtnin-v-celju>.

<http://moc.celje.si/okolje/8-staticne-strani/4219-priporocila-in-ukrepi-za-varno-pridelovanje-vrtnin-v-celju>

Vrščaj, B., Česnik, H. B., Velikonja Bolta, Š., Radeka, S., & Lisjak, K. (2022). Pesticide Residues and Heavy Metals in Vineyard Soils of the Karst and Istria. *Land*, 11(12), 2332. <https://doi.org/10.3390/land11122332>

Vrščaj, B., Repe, B., & Simončič, P. (2017). Soil Degradation (The Soils of Slovenia). V B. Vrščaj, B. Repe, & P. Simončič, *The Soils of Slovenia* (str. 171–198). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-017-8585-3_8

Vrščaj, B., Zupan, M., & Lobnik, F. (2002). Data on soil pollution for urban planning. 2002, 1771/1-1771/12.

Zupan, M., Grčman, H., & Lobnik, F. (2008). Raziskave onesnaženosti tal Slovenije [Soil Contamination Research in Slovenia] (Let. 1). Agencija RS za okolje; Center za pedologijo in varstvo okolja [Slovenian Environment Agency and Center for Soil Science and Environment].

MIKORIZA KOT POMOČ ZA PREŽIVETJE IN USPEŠNO RAST RASTLIN NA DEGRADIRANIH ZEMLJIŠČIH

Vladimir Planinšek
Drevesnica Omorika d.o.o.
drevesnica@omorika.si

Povzetek

Prispevek opisuje možnosti obnove degradirani območij z mikorizacijo sadik, ki so predvidene za saditev na teh območjih. Opisuje načine delovanja gliv, ki tvorijo sožitje z višje razvitimi rastlinami. Na kratko so opisani vzroki propadanja gliv. Opisana je stimulativnost rasti sadik in opazni učinki simbioze na mineralno prehrano in oskrbovanost z vodo rastlin. Opisana je tudi možnost oživljanja degradiranih območij s kombinacijo mešanja sestavin v zemljino z zeolitom, organsko snovjo in mikorizo.

Abstract

The article describes the possibilities of restoring degraded areas through the mycorrhization of seedlings intended for planting in these areas. It explains the mode of action of fungi that form symbiotic relationships with more developed plants and briefly describes the causes of fungal decay. The stimulation of seedling growth and the noticeable effects of symbiosis on the mineral and water supply of plants are discussed. The possibility of revitalizing degraded areas by incorporating zeolite, organic material and mycorrhiza into the soil is also described.

Ključne besede: mikoriza, zeolit, organska snov, simbioza, degradacija, obnova

Keywords: mycorrhiza, zeolite, organic material, symbiosis, decomposition, restoration

1 Uvod

Degradacija zemljišč pomeni spremembo rastiščnih razmer in s tem poslabšanje ekosistemskih storitev tal. Degradacijo lahko povzroči človek s svojo dejavnostjo poseganja v tla ali pa jo povzročijo klimatske spremembe. Degradacija postaja vse resnejši globalni problem. Povečujejo se erozije tal, tako fizične kot kemijske, kar lahko vodi v zmanjšano rodovitnost ali celo v nerodovitnost tal. S posegi v tla lahko prihaja do onesnaževanja, zbijanja, zmanjšanja ali izgubo ogljika v tleh, ...

Degradirano območje predstavlja nezadostno izkoriščeno ali zapuščeno območje z vidnim vplivom predhodne rabe in zmanjšano uporabno vrednostjo, ki lahko predstavlja potencial za razvoj (CRP V6- 1510, 2017). Najdemo jih marsikje, kot na primer: odlagališča komunalnih odpadkov, gradnja cest, transport, stanovanjske soseske, javne površine, regulacija vodotokov, opuščene površine tovarn, opuščene vojašnice, intenzivno kmetijstvo, itd.

V gozdovih so posebno vidne degradacije, ki so posledica napačnega poseganja v gozdove v preteklosti in sedanjosti ter predvsem zaradi klimatskih sprememb. V preteklosti je obveljalo golosečno gospodarjenje z gozdom in s tem je prihajalo do tvorjenja monokultur. S saditvijo predvsem smreke prihaja do zasmrečenja in s tem do prekomernega zakisanja tal. Vse pogostejše se pojavljajo orkanski vetrovi, zaradi katerih prihaja do vetrolomov. Zaradi prenizkih temperatur pozimi prihaja do pojava mokrega snega in s tem do snegolomov ali do žledolomov. Sekundarno se zaradi oslabelosti ostanka dreves pojavijo podlubniki. Posledica vseh teh ujm je degradacija tal, do katere prihaja predvsem zaradi nezadostnega in predvsem zaradi prepoznega ukrepanja.

Poseben problem degradacije območij in s tem tudi tal predstavljajo požarišča, ki nastanejo predvsem zaradi klimatskih sprememb ali zaradi malomarnega delovanja človeka.

Degradacija tal povzroča vse večjo grožnjo človeštvu in ima tako gospodarske kot tudi družbene posledice. Zaradi vnovične vključitve degradiranih površin v okolje moramo pričeti z iskanjem načinov upravljanja za sanacije in ponovnega oživljanje teh površin.

Mikorizacija rastlin je lahko eden izmed načinov pomoči pri sanaciji in ponovnem oživljanju degradiranih površin.

2 Mikorizacija rastlin

2.1 Načini prehranjevanja gliv

Glede na način prehranjevanja razvrščamo glive v:

- parazitske (zajedalske); zaradi vdora teh gliv v rastlino prične le-ta propadat (mraznice – štorovke – *Armillaria sp.*, smrekova kresilača – *Fomitopsis pinicola*, vitka lesenjača – *Xylaria hypoxylon*, ...),
- saprofitske (gniloživke); se hranijo z odmrliimi in razpadajočimi organskimi ostanki (jesenska drobotroska – *Baeospora myosura*, vse gojene gobe, ...),
- simbiotske (soživke) ali mikorizne glive.

Poleg naštetih gliv se lahko pojavijo glive, ki so šibki paraziti. Te glive normalno tvorijo simbiozo z višjimi rastlinami, v oteženih pogojih pa lahko postanejo paraziti.

2.2 Mikoriza

Mikoriza je sožitje med glivami in višjimi rastlinami. Termin mikoriza izhaja iz grščine: miko je gliva, rhiza je korenina in pomeni povezovanje specializirane glive s koreninami določenih vrst višjih rastlin. Takšna vrsta sožitja je skoraj nepogrešljiva za pravilno delovanje gozdnih ekosistemov. **Različne vrste rastlin potrebujejo različne vrste mikoriznih gliv.**

Več kot 90 % rastlinskih vrst ima naravno vzpostavljen simbiotski odnos med rastlino in glivo, zaradi česar je takšno sožitje nepogrešljivo pri zaščiti ekosistemov. Tako je mikoriza izrednega pomena ne le v gozdarstvu ampak tudi v sadjarstvu, vinogradništvu, vrtninarstvu in okrasnih nasadih.

Mikoriza deluje na rastline tako da:

- povečuje absorpcijsko površino koreninskega sistema (slika 1),
- tvori podzemno komunikacijsko mrežo med rastlinami,
- omogoča boljši izkoristek mineralnih snovi,
- ščiti rastline pred sušo in posledično pospešuje njihovo rast,
- povečuje fotosintetsko aktivnost,

- povečuje odpornost na bolezni in zmanjšuje porabo FFS,
- povečuje toleranco na toksične in težke kovine,
- zmanjšuje porabo mineralnih in organskih gnojil,
- povečuje absorpcijo makro in mikro elementov iz tal,
- zavira staranje,
- vpliva na stabilizacijo strukturnih agregatov v tleh, ...

(Planinšek, 2015)



Slika 1: Povečana absorpcijska površina koreninskega sistema

Vir: www.good4plants.com, 2015

Mikoriza je sestavni del ekosistema tal in predstavlja očem skrito pestrost življenja tal. Zato moramo razumeti ekologijo mikoriznih gliv.

Vsaka oblika mikorize je povezana z določenim ekosistemom in s talnim okoljem, ki se razlikuje glede hitrosti dekompozicije, mineralizacije, dostopnosti hranil in dinamike ekosistemov (Kraigher, 1996).

Tipi mikorize:

- ektomikoriza,
- arbuskularna mikoriza,
- ektoendomikoriza
- erikoidna mikoriza,
- oridejska mikoriza.

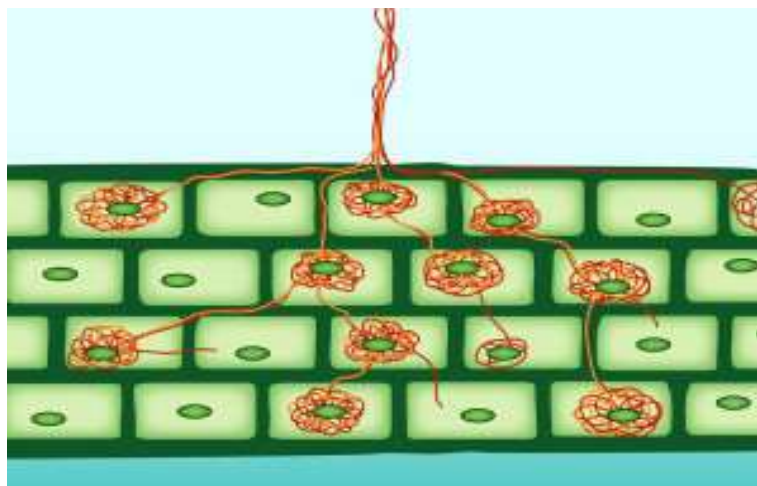
Ektomikoriza je prisotna predvsem pri lesnatih rastlinah in je značilna predvsem za drevesne vrste zmerne borealne pasu. Ektomikoriza se najbolj pogosto pojavlja pri drevesnih vrstah iz družin: *Pinaceae*, *Betulaceae*, *Fagaceae*, idr.

Erikoidna mikoriza je ena izmed ekološko najpomembnejših tipov mikorize, predvsem zaradi tvorjenja simbioze z rastlinami, ki imajo plitev koreninski sistem. Značilna je predvsem za kislila tla na večjih nadmorskih višinah. Najdemo jo pri rastlinah iz družine *Ericaceae* in v zasmrečenih sestojih.

Pri oridejski (orhidacejski) mikorizi tvorijo hife gliv spirale in druge skupke hif znotraj celic embrija in korenin rastlin iz družin kukavičnic – *Orchidaceae*. Glive sodijo v skupino *Basidiomycotina*, ki so sicer znane kot parazitske ali saprofitske glive na višjih rastlinah. Ta oblika predstavlja prehod med mutualistično in parazitsko obliko sožitja (Kraigher, 1996).

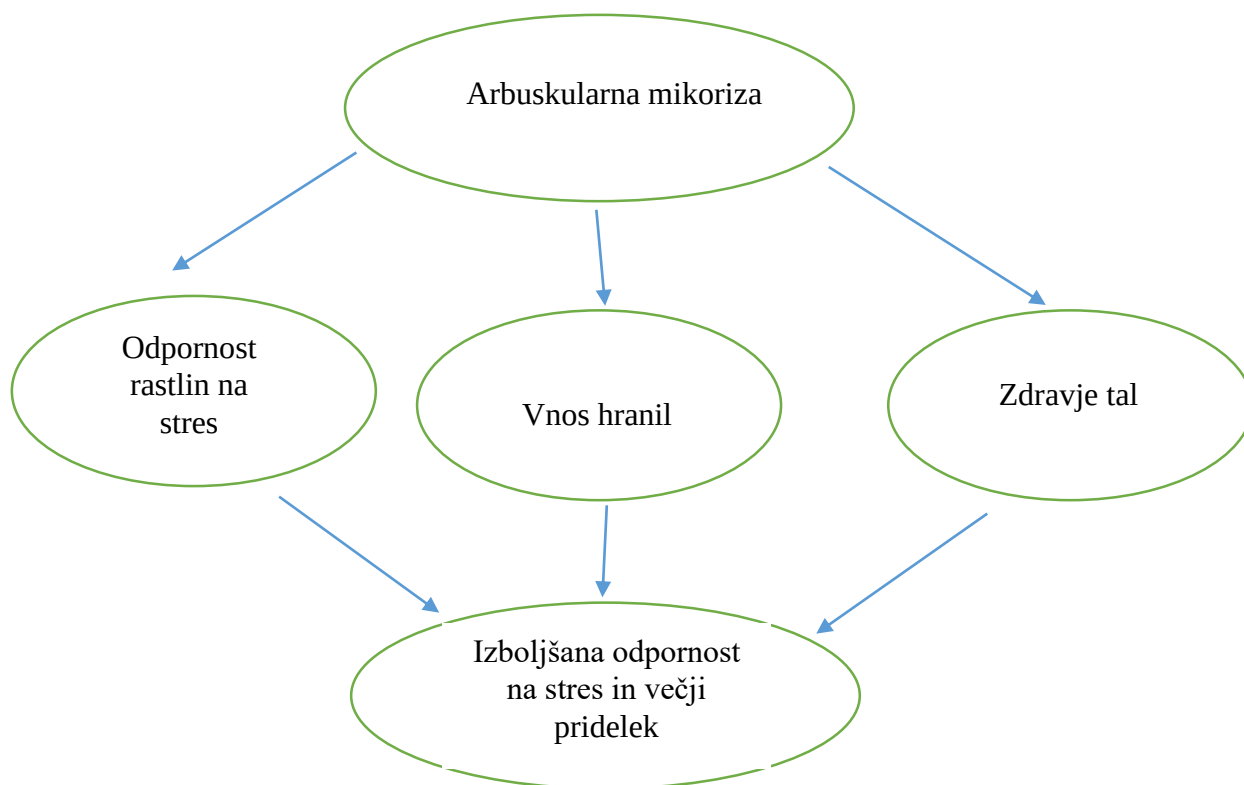
Arbuskularna mikoriza je najbolj razširjena mikoriza, ki prevladuje na manjših in srednjih nadmorskih višinah kjer je mineralizacija hitra. Posledično prihaja do hitrega spiranja hranil. Te glive omogočajo boljšo dostopnost in izkoriščanje tudi rastlinam nedostopnih hranil ter sproščanje le-teh.

Pri arbuskularni mikorizi (po starem endomikoriza) hife gliv prodrejo v celico primarne skorje korenin, kjer tvorijo nekakšne spirale, imenovane arbuskule in strukture, podobne balonom, imenovane vezikle. (slika 2) Tako poteka aktivna izmenjava substanc med glivo in rastlino. Arbuskularna mikoriza je najpogostejša vrsta mikorize in predstavlja eno najpomembnejših zalog ogljika v zemlji. Glive, ki tvorijo arbuskularno mikorizo, v okolico sproščajo protein glomalin, ki veže delce substrata in tako stabilizira prst in zmanjšuje erozijo tal (Rosier in sodelavci, 2006).



Slika 2: Arbuskularna mikoriza s prikazanimi arbuskulami in veziklami

Vir: www.good4plants.com, 2015



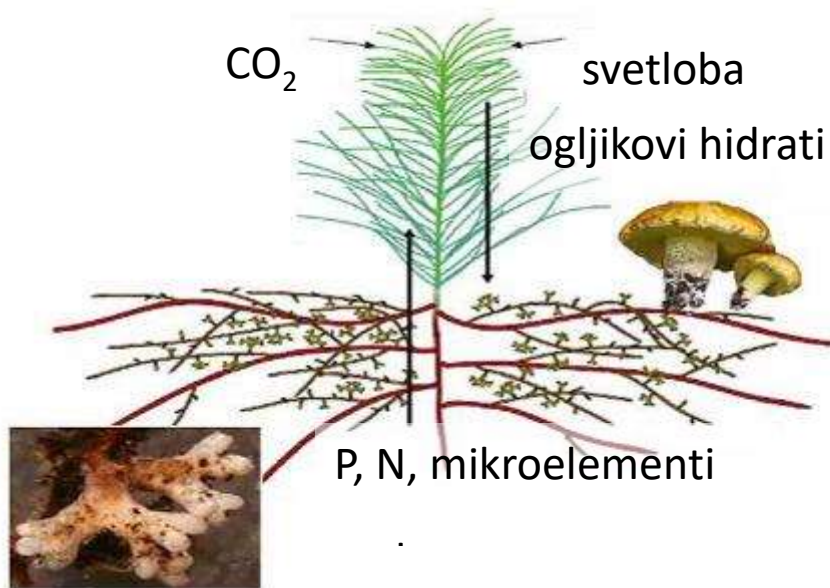
Mikoriza omogoča rastlini (makrosimbiontu) boljšo rast in uspevanje v naravnih in umetnih sistemih z mehanizmi, ki jih lahko opredelimo na morfološkem, fiziološkem in ekološkem nivoju (Kraigher, 1996).

Morfološki nivo se izkazuje v povečanju absorpcijskega volumna koreninskega sistema in s tem večje dostopnosti do hranil. Istočasno pa glivni plašč zmanjšuje vdor patogenih organizmov v rastlino.

Sposobnost micelija gliv na fiziološkem nivoju se kaže s sprejemanjem rastlinam nedostopnih ali težko dostopnih hranil, shranjevanjem hranil v glivnem plašču, selektivnem sprejemanjem težkih kovin, kot tudi izločanjem antibiotikov v mikorizosfero. V območju mikorizosfere se spreminja tudi pH tal.

Na ekološkem nivoju se kaže vpliv mikoriznih gliv pri sestavi mikroorganizmov v tleh, razporeditvi in prenosu hranil v ekosistemu.

Določene vrste gliv, ko zaznajo rastlinske hormone, razvijejo micelij in pričnejo pospeševati razkroj organskih snovi v spojine, ki so spremenljive za višje rastline (slika 3). Dovajajo tudi vitamine in minerale. Glive v sušnem obdobju dovajajo rastlini preko koreninskega sistema vodo. Iz rastline pa črpajo organske spojine, predvsem sladkorje in jih uporabljajo za svojo rast. Istočasno pa pospešujejo obrambno reakcijo rastlin (Planinšek, 2015). Mikorizne glive vplivajo tudi na fiksacijo CO₂ iz atmosfere in s tem povečujejo učinek ponora.



Slika 3: Simbiotski odnos gliv in višje rastline

Vir: Vodnik, 2015

Učinkovitost sožitja posameznih vrst sevov gliv v mikorizni simbiozi se lahko razlikuje glede na fiziološke lastnosti glive, populacije rastlin ter kombinacijo vrst obeh simbiotov (Kraigher, 1996).

Pred komercialno uporabo posameznih sevov mikoriznih gliv je potrebno le-te najprej preizkusiti na različnih substratih in vitro, v dvojnih kulturah s sadikami v laboratorijskih pogojih, šele nato navadno prenesejo poskuse na izbrana rastišča (Kraigher, 1996). Ugotoviti torej moramo katere vrste gliv s katerimi rastlinami tvorijo mrežo za prehranjevanje le-teh.

2.3 Predstavitev poskusa v drevesnici Omorika

Poskus mikorizacije sadik smo pričeli leta 1988 skupaj z Univerzo v Ljubljani, Katedra za rastlinsko fiziologijo, Oddelka za biologijo, z izbranimi inokulumi različnih gliv, ki so bile kompatibilne s simbiotskimi partnerji. Namen je bil proučitev učinkov inokulacije na rast in razvoj sadik.

Sprva je potekal poskus le v drevesnici, v začetku leta 1993 pa smo sadike presadili na s težkimi kovinami obremenjena rastišča v Žerjavu nad Dolino smrti (slika 4). Poleg velike prisotnosti težkih kovin vladajo na teh rastiščih še drugi stresni dejavniki: neugoden vodni režim, visoka intenziteta svetlobe in občasni ožigi s SO₂. Na terenu so se mikorizne sadike označile za vsako glivo posebej. Kontrola na terenu se je vršila v letih 1995 in 1996 pri vsaki skupini sadik. Vsakokrat se je merilo višino presajenk in debelino koreninskega vrata presajenk, analiziralo se je vsebnost fotosintetskih pigmentov v iglicah ter izmerila se je vsebnost posameznih mineralov (fosfor, kalij in kalcij) v iglicah in koreninah.



Slika 4: Mesto presaditve mikoriznih sadik
Vir: Vogel, 2003

Od prenesenih mikoriziranih sadik se je razvil izvenkoreninski micelij le pri sadikah inokuliranih z glivo *Pisolithus tinctorius* – češke gomoljike. Mikorizne sadike so predvsem zaradi odpornosti na stresne pogoje zelo primerne za zasaditve na ekstremnih rastiščih, vendar moramo vedeti, katera gliva je primerna za določen ekosistem in za talne razmere, ki vladajo v okolju, kamor sadike sadimo. Učinek inokulacije se izrazi šele po nekem obdobju. Rastni odgovor pa je različen glede na izbrano vrsto glive.

2.4 Vzroki propadanja mikoriznih gliv:

- napačna izbira mikoriznih gliv (vse glive ne tvorijo micelija v vseh ekosistemi in z vsako rastlino),
- klimatske spremembe in z njimi povezan kisel dež,
- erozija tal,
- intenzivno kmetijstvo (mineralna gnojila, težka mehanizacija, pesticidi, osušitev terena, gnojevka, prekomerna paša, ...),
- prekomerna raba tal,
- urbanizacija,
- gradbeni posegi (težka mehanizacija, zatesnjevanje površin, ...),
- gospodarjenje z gozdovi (goloseki, ujme, monokulture, saditev neavtohtonih invazivnih vrst rastlin, težka mehanizacija, ...),
- saditev ali naravna naselitev tujerodnih invazivnih vrst rastlin,
- prekomerno nabiranje gob in uničevanje neužitnih gob, ...

3 Možnosti oživljanja degradiranih zemljišč z mikorizo

Degradirano območje je območje, ki je degradirano po naravni poti (erozija, kmetijstvo, gozdarstvo, ujme, poplave, ...) ali s pomočjo človeka – antropogeno (industrija, rudarstvo, odlagališča odpadkov, emisije plinov, gradnja cest, regulacija vodotokov, kamnolomi in gramoznice...) in ni izkoriščeno v okviru svojih možnosti in potenciala. K sanaciji in oživljanju teh območij moramo pristopiti ciljno in usmerjeno. Običajno za takšna območja ni pravih rešitev in pristopa k njihovi reaktivaciji. Takšna območja so razvrednotena in prepuščena njihovemu propadanju.

Naš skupni cilj mora biti oživitev in ureditev teh degradiranih območij z različnimi rastišči primernimi rastlinami. Številne rastline zaradi oteženih pogojev ne morejo absorbirati zadostne količine hranil preko lastnega koreninskega sistema. Lahko jim pomagamo s fizičnim dodajanjem hranil ali pa s pomočjo mikoriziranja rastlin. Preko hifnega sistema lahko rastline privzemajo hranila in vodo. Opis delovanja sožitja med rastlinami in glivami – mikoriza je opisan v prejšnjem poglavju.

Degradacija tal ima drastičen vpliv na okolje in celoten ekosistem. Splošno razmišljanje, da je kolonizacija z mikorizo brez poznavanja in razumevanja ekologije gliv, je lahko škodljivo. Poskusi z mikorizacijo rastlin z različnimi vrstami gliv, ki smo jih izvedli v drevesnici Omorika d.o.o. jasno kažejo, da je potreba po poznavanju kompatibilnost posameznih ali kombinacijo več vrst gliv z različnimi rastlinami nujna.

Zato je nujno, da vemo, kateri tipi mikorize se pojavljajo v simbiozi s posameznimi drevesnimi vrstami oziroma njihovo kombinacijo v naravi na različnih rastiščih in na različno obremenjenih tleh (Kraigher, 1996).

Mikorizne sadike, kolonizirane z rastišči prilagojenimi vrstami in sevi gliv, imajo prednost pred nemikoriziranimi v sposobnosti vzpostavitve hitrejšega in uspešnejšega stika z vodo in hrenili v tleh ter z drugimi organizmi v biokomponenti tal (Kraigher, 1996). Absorpcijske funkcije opravlja le micelij mikoriznih gliv, ki je prilagojen na rastišče.

Raziskava mikoriziranja rastlin v Sloveniji je bila v večini izvedena na sadikah gozdnega drevja na obremenjenih degradiranih površinah, ki so nastale zaradi rudarjenja. V svetu gredo raziskave v smeri umetne kolonizacije na različno obremenjenih rastiščih in na različnih degradiranih površinah. Preden se lotijo komercialne prodaje pripravkov, morajo predhodno proučevati glive, ki so primerne za različna rastišča in ne povprek uporabljati določene vrste gliv, saj je vrstna raznolikost gliv velika. Večina rastlinskih vrst se zanaša na specifične mikorizne glive. Z raziskavami razvoja mikoriznih simbioz se je v Sloveniji največ ukvarjala dr. Nada Gogala. Oživljanja degradiranega območja se moramo lotevati postopoma z majhnimi koraki.

3.1 Možnosti oživljanja degradiranih zemljišč s pomočjo kombinacije dodajanja mikoriznih gliv, drugih naravnih mineralov in organske snovi

Delovanje mikorize na rastline je med drugim tudi povečanje absorpcije hranil in vode. Mikoriza prav tako povečuje absorpcijsko površino in sposobnost koreninskega sistema gostiteljske rastline. S tem se izboljšuje privzem skoraj vseh hranil, istočasno pa zmanjšuje privzem klora (Cl) in natrija (Na) (Cl in Na sta elementa soli). Mikorizne glive so sposobne tudi privzema večjih količin dušika (N) iz razkrojenega materiala in organskih gnojil, kar poveča uspešno rast rastline. Stresne situacije zaradi pomanjkanja vode in hranil lahko pomenijo večjo dostopnost za patogene organizme.

Pri degradacijah gre predvsem za spremembo rastiščnih razmer ali celo za njihovo uničenje. Zato je pomembna priprava postopka ukrepanja na degradiranih površinah predvsem za pripravo tal. Obnova lahko poteka po naravni poti ali s pomočjo človeka. Pri naravni obnovi lahko prihaja do vnosa nezaželenih ali celo invazivnih vrst rastlin. Pri obnovi degradiranih tal, ki so nastala zaradi posega človeka pa moramo najprej izboljšati lastnosti tal, šele nato lahko obnovimo te površine z rastlinskim slojem. Zavedati se moramo, da obnova v prvotno stanje skoraj ni več mogoča.

Za obnovo degradiranih območij morajo biti skrbno narejeni načrti z vključujočimi načini obnove. Ena izmed možnosti je oživitev degradiranih površin z mešanico zeolita, organske snovi in rastlinam primerne mikorize. Predpogoj je, da je v območje vnosa rastlin vnesena zadostna količina rodovitne prsti (slika 6). Pri poseganju in s tem degradaciji površin predvsem z gradbenimi posegi prihaja do

pomanjkanja rodovitne prsti. Zato je primerno na mesta zasaditve narediti točkovno jame z zadostno količino prsti (od 10 – 15 m³) in šele nato dodajati mešanico.

Zeolit dodajamo predvsem zaradi obogatitve območja sadnje z minerali. Zeoliti sodijo v izredno pomembno skupino kamenotvornih mineralov, med alumosilikatne gline vulkanskega izvora s tridimenzialno kristalno strukturo in se navadno oblikujejo z metamorfizmom vulkanskih skal (Kolar., M., 2013). Imajo izredno porozno skeletno strukturo, ki sestoji iz medsebojno povezanih kanalčkov in votlinic, vzdolž katerih potekajo procesi ionske izmenjave, absorpcije in hidratizacije (Kolar, 2013). Zeoliti imajo veliko sposobnost za zadrževanje vode in mehansko stabilnost (Kolar, 2013). Dodajanje zeolita v zemljinu ima pozitiven učinek na rast in prirast rastlin.

Organsko snov v tleh ima ključno vlogo za obstoječa tla in za obnovo tal. Organska snov je vir talnih mikroorganizmov, ki omogoča v tleh boljše skladiščenje oziroma vezavo hranil, tla bogata na organski snovi bolje vežejo in zadržujejo vlago, izboljšajo se fizikalne lastnosti zemlje. Organsko snov predstavljajo komposti, gnoji, organska gnojila, ...

Delovanje mikorize smo obravnavali že v zgornjih poglavjih. Z načrti obnove degradiranih gozdnih območij nastalih zaradi ujm se v veliki meri, čeprav ne zadostno ukvarja le gozdarstvo. Posledice ujm so običajno velikopovršinske, zato so ogrožene tudi glive, ki tvorijo mekorizo na določenem rastišču. Rastiščne razmere se po ujmah po navadi spremenijo. Zato se vrstna sestava, raznolikost in fiziologija mikoriznih gliv razlikuje glede na sukcesivno fazo gozdnih sestojev (Kraigher, 1996).

Glede na delovanje imenovanih – predlaganih sestavin je mogoče sklepati, da se z dodajanjem teh sestavin lahko izboljšajo in spremenijo tako kemijske kot tudi fizikalne lastnosti tal, kar znatno prispeva k obnovi in ponovni oživitvi degradiranih območij z rastlinami (sliki 5, 6).



Slika 5: Primer oživljanja degradiranih površin z dodajanjem rodovitne zemlje, zeolita in biogrene na gradbišču avtoceste

Vir: Marija Herman Planinšek



Slika 6: Deponija rodovitne zemljine za zaplnitev sadilnih jam

Vir: Marija Herman-Planinšek

4 Zaključek

Revitalizacija degradiranih območij je velik potencial za trajnostni razvoj prostora. Ustvarjanje optimalnih lastnosti tal na teh območjih je velik izziv za načrtovalce revitalizacije degradiranih območij. Poskusi, ki so bili opravljeni v drevesnici Omorika in nadalje na ekstremnih degradiranih rastiščih, so pokazali na nujnost prisotnosti mikorize pri sadikah predvsem zaradi boljšega prenašanja presaditvenega šoka in nadaljnjega preživetja rastlin.

Biološka in biotska pestrost predstavlja enega ključnih elementov stabilnosti degradiranih zemljišč. Prenos in shranjevanje hranil in vode je osnovni povezovalni element v tleh. To področje je premalo raziskano ali pa sploh ni raziskano. Naj bodo predlagane možnosti obnove degradiranih zemljišč v bodoče izziv za raziskovalne organizacije in stroko. Naj obnova degradiranih območij pomeni tudi izziv zelene investicije. Aktivnost naj bodo ciljno usmerjene.

5 Viri in literatura

CRP V6 – 1510 – končno poročilo. 2017

KOLAR, Maja. 2013. Vpliv velikosti in količine zeolitnih delcev na zadrževanje vode v rastnih substratih za okrasne rastline (doktorska dizertacija). Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta

Mushrooms & other Fungi on the Web. www.mykoweb.com.

PLANINŠEK, Vladimir. 2015. Mikoriza kot osnovni povezovalni element v tleh (Mikoriza -vpliv na rast in razvoj sadik v drevesnici in po presaditvi. Šola za hortikulturo in vizualne umetnosti Celje. Hortikultura – možnosti in priložnosti, prenos dobre prakse, zbornik 7. strokovnega posveta s temo tla

KRAIGHER, Hojka. 1996. Tipi ektomikorize – taksonomija, pomen in aplikacije. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 49, 1996

ROSIER, Carl L., HOYE, Andrew T., Rilling, Matthias C. 2006. Glamalin – related soil protein: Assessment of current detection and quantification tools, Soil Biology & Biochemistry 38, 2006, str 2205 – 2211

VILHAR, Urša. 2001. Pestrost tipov ektomikorize na naravnem mladju na Pokljuki – diplomsko delo. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Odd za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire

VODNIK, Dominik, GOGALA, Nada. 1997. Inokulacija smreke (*Picea abies* / L/ Karsten) z mikoriznimi glivami: Vpliv na rast in razvoj v drevesnici in po presaditvi. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 54, 1997, str 87 – 108

VODNIK, Dominik, GOGALA, Nada. 1994. Seasonal fluctuations of photosynthesis and its pigments in 1-years mycorrhized spruce seedlings. Mycorrhiza 4, Springer Verlag, str. 277 – 281

WWW.GOOD4PLANTS.COM

FITOREMEDIACIJSKI POTENCIAL GINKA (*Ginkgo biloba* L.)

Barbara Pajk

Šola za hortikulturo in vizualne umetnosti Celje

barbara.pajk@hvu.si

Povzetek

S kovinami onesnažena območja, ki niso primerna za pridelavo hrane, je možno ozeleniti s sajenjem drugih rastlin, npr. dreves, kot je Ginkgo biloba L. Ginkgo ima dolgo življenjsko dobo, je prilagodljiv na različne talne razmere, odporen zoper bolezni in škodljivce in toleranten na mnoge stresne vremenske razmere, kar ga uvršča na prednostni seznam dreves za prihodnost. Razen hitre rasti, ki mu onemogoča napravo velike nadzemne biomase v kratkem času, ima vse prednosti pri čiščenju onesnaženih tal s kovinami. Pri tem mu pomagajo arbuskularne mikorizne glive predvsem iz rodu Glomus, ki se razraščajo v obširen koreninski sistem, ki ga ginkgo napravi. Za transformacijo nevarnega šestvalentnega kroma v sprejemljivo trivalentno obliko pa je možen dodatek ginkgovih listov v tla, kar koristi delovanju mikroorganizmov, predvsem bakterijam, ki to redukcijo kroma opravijo. Od fitoremediacijskih procesov sta pri ginkgu pomembni fitostabilizacija in fitoekstrakcija.

Abstract

Metal polluted areas that are unsuitable for food production can be revegetated by planting other plants, e.g. trees such as Ginkgo biloba L. Ginkgo has a long life span, is adaptable to different soil conditions, is resistant to diseases and pests and can tolerate many stressful weather conditions, which puts it on the priority list of trees for the future. In addition to its rapid growth, which prevents it from building up a large above-ground biomass in a short time, it has all the advantages in cleaning metal-polluted soils. This process is aided by arbuscular mycorrhizal fungi, mainly from the genus Glomus, which grow into the extensive root system that the ginkgo develops. The conversion of the dangerous hexavalent chromium into an acceptable trivalent form can be achieved by adding ginkgo leaves to the soil, which favors the activity of microorganisms, especially the bacteria that carry out this chromium degradation. Of the phytoremediation processes, phytostabilization and phytoextraction are important for ginkgo.

Ključne besede: *Ginkgo biloba* L., fitoremediacija, arbuskularna mikoriza

Keywords: *Ginkgo biloba* L., phytoremediation, arbuscular mycorrhiza

1 Uvod

Zemljišča, ki so prekomerno onesnažena z nerazgradljivimi onesnažili, kot so težke kovine, omejujejo možnost uporabe takšne zemlje za pridelavo rastlin za prehrano živali in ljudi. Navadno gre za koncentracije, ki so višje od geografske izhodiščne vrednosti in so posledica različnih virov onesnaževanja (Liu L., 2018). Ko onesnažila presežejo mejne vrednosti, lahko postanejo zelo škodljiva. Mejne, opozorilne in kritične vrednosti snovi v tleh opredeljuje Uredba o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh (UL RS, 1996).

Za učinkovito dekontaminacijo onesnaženih lokacij se uporabljajo različni kemijski in fizikalno-kemijski postopki ter biološki postopki, kot je fitoremediacija. Za obnovo okolja se kot cenovno in ekološko ugodne fitoremediacijske postopke uporabljajo rastline, ki razgrajujejo, stabilizirajo ali akumulirajo onesnažila (Košar, 2021).

Od fitoremediacijskih procesov sta najpogostejši fitostabilizacija in fitoekstrakcija (Al Sayegh Petkovšek s sod., 2010).

Fitostabilizacija je postopek, kjer se kovine zadržijo pri koreninah rastlin in se ne prenesejo v nadzemne dele. Rastline imajo velik koreninski splet, zato hkrati stabilizirajo tla in tako zmanjšujejo erozijo. Pomembno vlogo imajo pri teh rastlinah simbiotske glive (Košar, 2021).

Fitoekstrakcija poteka pri rastlinah, ki v kratkem obdobju napravijo obilno biomaso in kopičijo v nadzemnih delih kovine (hiperakumulatorji), ki jih lahko z žetvijo in sežigom ponovno pridobivamo (Košar, 2021).

2 Ginko in arbuskularna mikoriza kot priložnosti za fitoremediacijo

Ginkgo biloba L. je dvodomno listopadno drevo iz družine Ginkgoaceae. Velja za eno najstarejših reliktnih vrst med obstoječimi golosemenkami in ga imenujemo 'živi fosil'. Doživi lahko 1000 let. Zraste do 30 m visoko. Po poreklu je iz vzhodne Azije, v Evropi pa je razširjen okrog 300 let. Prenaša močan veter in nizke temperature. Zelo mokra ali zelo suha tla mu ne ustrezajo. Je odporen zoper bolezni in škodljivce (vsaj v Evropi). Prenaša onesnažen zrak in je primeren za gojenje povsod po Sloveniji (Brus, 2004). Poleg prezimne trdnosti (WHZ 5 po ameriški lestvici) je tolerant tudi na vročino in sušo, zato se ga uvršča na seznam priporočljivih dreves za prihodnost (Bruns, 2021). Koreninski sistem je močno razvejan. Sestavljajo ga globoka glavna korenina in radialno razporejene močne stranske korenine, ki drevo dobro sidrajo in so v bližini debla plitvo, pri starejšem drevesu tudi delno na površju tal (Liu s sod., 2012), iz njih pa v globino izraščajo korenine višjega reda. Razprostrt koreninski sistem ima številne vlaknaste korenine (Bruns, 2021).

Z ginkom sodelujejo simbiotske glive arbuskularnega tipa, ki spadajo v deblo Glomeromycota. Najbolj poznane vrste teh gliv pripadajo rodovoma *Glomus* in *Rhizophagus*. Prevladujoči rodovi pri ginku pa so poleg roda *Glomus* še *Paraglomus*, *Archaeospora* in *Ambispora* (Mao s sod., 2024). Te glive tvorijo značilne strukture, imenovane arbuskuli, znotraj koreninskih celic gostiteljskih rastlin, kar omogoča učinkovito izmenjavo hranil med glivo in rastlino. Simbioza z glivami je nespecifična do gostiteljskih rastlin, kar pomeni, da je posamezna gliva sposobna kolonizirati veliko različnih vrst rastlin, vključno z ginkom. Prav tako lahko korenino ene rastline kolonizira več vrst gliv. Naravno je prisotna pri ginku simbiotska gliva *Glomus epigaeum*, ki v korenine izrašča mnogo intracelularnih hif, redko pa medcelične. Inokulacija na območjih brez prisotnosti te glive lahko pospeši rast sadik (Fontana, 1985) in predstavlja priložnost za uvajanje drugih rastlin na neko območje.

Mikorizne glive omogočajo rastlinam, da iz tal črpajo več hranil (posebno fosfor) in vode. Povečujejo tudi odpornost rastlin na različne okoljske obremenitve. Poleg tega imajo te glive pomembno vlogo pri procesu agregacije tal in spodbujajo mikrobnost aktivnost. Odvisno od rastlinske vrste ter načinov gojenja in pogojev mikorize zagotavljajo različne koristi za rastline in okolje, kot npr. povečano toleranco na sušo, slanost tal, odpornost na patogene, ki se prenašajo s koreninami in boljšo vitalnost rastlin. Po skupnem miceliju (najpogostejši je transport signalnih molekul po citoplazmi hif) se prenašajo tudi obrambni signali, ki jih sprožijo rastline, ko jih napadejo rastlinojedi ali so okužene s patogeni (Pintar, 2018). Mikorizne glive igrajo pomembno vlogo pri agregaciji tal prek mreženja hif in proizvodnje glomalina (biološkega lepila). Zato je njihova

prisotnost v tleh bistvena za ohranjanje dobre strukture tal. Tla so bolj odporna zoper erozijo in zbijanje tal, hranila bolje krožijo, večja prepustnost zraka je in tla so bolj sposobna zadrževati vodo (Myke Pro, b.d.).

Pomembna vloga arbuskularne mikorize za rastline je povečanje tolerance na težke kovine, ki se nahajajo v tleh. Ker so te glive razvile toleranco na težke kovine, lahko v onesnaženih tleh rastejo tudi drevesne vrste kot je ginko. Kot navajajo Upadhyaya in sod. (2010), so glive iz rodu *Glomus* torantne na kadmij in odgovorne za privzem, transport in imobilizacijo kadmija, baker pa se absorbira in kopiči v miceliju.

Obetajoče so novejša raziskave (Xu s sod., 2023), opravljene na Kitajskem, ki se nanašajo na učinkovitost odstranjevanja šestvalentnega kroma (Cr (VI)) iz tal s pomočjo ginkovih listov. Cr(VI) je toksičen in rakotvorni element, ki predstavlja veliko tveganje za okolje in zdravje ljudi. Z dodajanjem listov ginka v tla se z redukcijo pretvori škodljivi Cr (VI) v biološko bolj neškodljiv trivalentni krom (Cr (III)) in kvarcetin, ki vsebuje hidroksil. Rezultati so bistveno boljši v nesteriliziranih tleh kot v steriliziranih, kar nakazuje, da imajo ključno vlogo mikroorganizmi, kjer prevladujejo rodovi bakterij *Actinobacter*, *Agrococcus*, *Klebsiella*, *Streptomyces* in *Microbacterium*.

3 Uporaba ginka

Ginkgo je vsestransko uporabna rastlina. Uporaben je v prehrani, farmaciji, za fitoremediacije in za ozelenjevanje površin, kjer ima kot mnogo dreves pomembno ekosistemsko vlogo.

Za prehrano se uporabljajo pražena semena. Vsebujejo veliko škroba, vendar malo beljakovin in maščob. Pri zaužitju večjih količin lahko toksično deluje ginkotoksin, ki se nahaja tudi v listih v zelo majhnih količinah. Maslena kislina v mesnatem delu, ki obdaja seme, pa lahko draži kožo in ob razkrajanju zaradi specifičnega, izredno neprijetnega vonja sili na bruhanje.

Pri uporabi v farmaciji je najpogostejša uporaba izvlečka listov, iz katerih se pridobiva zmes ginkolidov kot prehransko dopolnilo za podporo možganskih funkcij in splošnega zdravja (Špringer, b.d.), saj imajo izvlečki širok spekter bioloških učinkov. Izvlečki listov so učinkoviti tudi proti nekaterim škodljivcem, npr. pri pridelavi riža (Orwa s sod., 2009). Tudi druge raziskave prepoznavajo ginko kot vir biološko aktivnih spojin (več kot 60, kot najpomembnejši so flavonoidi in terpenoidi) (Biernacka s sod., 2023).

Južnokorejske raziskave (Choo s sod., b.d.) navajajo korelacijo kontaminacije težkih kovin v tleh in v ginku. Kadmij, kobalt, krom, baker, železo, mangan, nikelj, svinec in cink so v sorazmerju v tleh industrijskih in prometnih območij in v listih ginka. Ginko kaže močno sposobnost tolerance cinka (Zhang s sod., 2024). V tem primeru je ginko primeren za fitoremediacijo, ne pa za uporabo v zdravilne namene ali za prehrano, saj arbuskularne mikorizne glive prispevajo k proizvodnji in kopičenju učinkovin in drugih snovi v rastlini. Mehiška raziskava tveganja za zdravje ljudi (Rojas s sod., 2021) ocenjuje, da svinec izkazuje tveganje, mangan, kadmij in arzen v njihovih vzorcih ginka in njegovih preparatov pa tveganja za zdravje ljudi ne kažeta.

Zaradi simbioze z mikoriznimi glivami je ginko primerno saditi na onesnaženih tleh tam, kjer bo imel vlogo fitostabilizacije škodljivih elementov v tleh, hkrati pa bo opravljal vlogo okrasnega drevesa (Orwa s sod., 2009). Drevesa, tudi ginko, imajo veliko ekosistemskih koristi, kot npr. ohlajajo poletno razgredo ozračje, čistijo zrak, nudijo prostor živalim, itd.

4 Zaključek

Nekatere kovine so v majhnih količinah esencialne, ker sodelujejo pri metabolizmu, npr. baker, cink, nikelj, železo in mangan. Druge, npr. živo srebro, svinec, kadmij, veljajo za zdravju škodljive, za tla pa predstavljajo trajna onesnažila.

Fitoremediacijski postopek čiščenja tal z rastlinami, ki akumulirajo onesnažila, je pri večini rastlin počasen, prav tako obstaja možnost nastopa kovinskega stresa v njih (za ginko slednje ni znano). Ginko raste počasi. Da doseže višino 10 m, potrebuje okrog 30 let. Letni prirastek je okrog 40 cm, pri nekaterih sortah pa manj. Zato bolj kot fitoekstrakcija pride v poštev pri čiščenju onesnaženih tal fitostabilizacija.

Fitoekstrakcijo lahko dosežemo z rastlinami, ki imajo sposobnost hitre rasti, obilen koreninski sistem, povečan potencial kopičenja kovin, visoko toleranco na povišane koncentracije kovin, odpornost na patogene, enostavno gojenje, dobro prilagoditev podnebnim razmeram in odpornost proti škodljivcem. Ginko ima vse omenjene lastnosti, razen hitre rasti, kar pomeni, da v kratkem času ne napravi veliko biomase. Fitoekstrakcija je učinkovita na mestih z nizko stopnjo onesnaženosti.

Fitostabilizacijo pomagajo vršiti simbiotske arbuskularne glive, predvsem iz rodu *Glomus*.

Potencial fitoremediacije tal, onesnaženih s kovinami, bi bilo mogoče povečati z inokulacijo hiperakumulatorskih rastlin z mikoriznimi glivami, ki so najprimernejše za določena onesnažena območja in to s kombinacijo uvajanja gensko spremenjenih rastlin, kar je že znano npr. z gensko spremenjenimi topoli s preoblikovanim genom za odpornost na kovine, kjer določen protein zaseže kovine in jih kelira z glutationom v vakuole.

Z genskim inženiringom se lahko rastlinske sposobnosti za prevzemanje, premeščanje in omejevanje strupenosti težkih kovin znatno povečajo (Košar, 2021).

5 Viri in literatura

Al Sayegh Petkovšek, S., Božič, G., Kraigher, H., Levanič, T. in Pokorny, B. (2010). Fitoremediacija s kovinami onesnaženih tal z uporabo sadik dreves. *Zbornik gozdarstva in lesarstva* 92 (2010), s. 67–86. <http://eprints.gozdis.si/149/1/zbgl-92-7.pdf>.

Biernacka, P., Adamska, I. in Felisiaak, K. (2023). *The Potential of Ginkgo biloba as a Source of Biologically Active Compounds—A Review of the Recent Literature and Patents*. *Molecules*, 28(10), 3993 (2023). <https://www.mdpi.com/1420-3049/28/10/3993>.

Bruns, J. (2021). *Bruns Pflanzen, Catalogue of trees and shrubs 2021/2022*.

Brus, R. (2004). *Drevesne vrste na Slovenskem*. Ljubljana: Mladinska knjiga.

Choo, M., Kim, K. H., Lee, J. S. in Chon, H. T. *Geochemical Dispersion and Contamination Characteristics of Heavy Metals in Soils and Leaves of Ginkgo biloba in Seoul Area*. *Economic and Environmental Geology*, 38(3), (2005). <https://koreascience.kr/article/JAKO200502637410812.pdf>.

Fontana, A. Veicular – Arbuscular Mycorrhizas of *Ginkgo biloba* L. in Natural and Controlled Conditions. *New Phytologist*, vol. 9, št. 3 (1985), str. 441-447. <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1469-8137.1985.tb03671.x>.

Košar, M. (2021). *Fitoremediacija onesnaženih tal s težkimi kovinami: genski inženiring za večjo učinkovitost procesa*. Diplomsko delo. UL - FKKT - Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo. <https://repozitorij.uni-lj.si/Dokument.php?id=139978&lang=slv>.

Liu, L., Li, W, Song, W. in Guo, M. (2018). *Remediation techniques for heavy metal-contaminated soils: Principles and applicability*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969718309215>.

Liu, S., Ye, W, Lou, P. in Xiao, L. (2012). *Ginkgo root system structure*. https://www.researchgate.net/figure/Ginkgo-root-system-structure_fig1_273209338.

Mao, J., Wang, Q., Yang, Y., Pan, F., Zou, Z., Su, X., Wang, Y., Liu, W in Tang, Y. (2024). A Treasure Trove of Urban Microbial Diversity: Community and Diversity Characteristics of Urban Ancient *Ginkgo biloba* Rhizosphere Microorganisms in Shanghai. *Journal of Fungi*, 10(10), 720. <https://www.mdpi.com/2309-608X/10/10/720>

Myke Pro. (b. d.). *Mycorrhizal inoculant*. <https://www.mykepro.com/mycorrhizae-benefits-application-and-research.aspx>.

Orwa s sod. (2009). *Ginkgo biloba*. Agroforestry Database. https://apps.worldagroforestry.org/treedb/AFTPDFS/Ginkgo_biloba.PDF.

Pintar, A. (2018). *komunikacija med rastlinami s pomočjo arbuskularnih mikoriznih gliv*. Diplomsko delo. UL – Biotehniška fakulteta. <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=102712&lang=slv>

Rojas, P., Ruiz-Sanchez, E., Rios, C., Ruiz-Chow, A. in REsendiz-Albor, A. (2021). *A Health Risk Assessment of Lead and Other Metals in Pharmaceutical Herbal Products and Dietary Supplements Containing Ginkgo biloba in the Mexico City Metropolitan Area*. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 5; 18(1). 8285. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8391129/pdf/ijerph-18-08285.pdf>.

Špringer, J. (b. d.). *Ginko (Ginkgo biloba)*. Pomurske lekarne. <https://www.pomurske-lekarne.si/tocka-zdravja/ginko-ginko-biloba>.

Upadhyaya, H., Panda, K. S., Bhattacharjee, M. K. in Dutta, S. Role of Arbuscular Mycorrhiza in Heavy Metal Tolerance in Plants: Prospects for Phytoremediation. *Journal of Phytology* 2(7), (2010), str. 16-27. <https://core.ac.uk/download/pdf/236017437.pdf>.

Uredba o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh. (1996). *Uradni list RS*, št. 68/1996, str.5773. <https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/1996-01-3722>

Zhang, J., Luo, Y., Hou, H., Yu, P., Guo, J. in Wang, g. (2024). *Zinc-Enhanced Regulation of the Ginkgo biloba L. Response and Secondary Metabolites*. *Journal Forests*, vol. 15/5, 2024. https://www-mdpi-com.translate.goog/1999-4907/15/5/759? x_tr_sl=en& x_tr_tl=sl& x_tr_hl=sl& x_tr_pto=sc.

Xu, H., Fan, Y., Xia, X., Liu, Z. in Yang, S. (2023). *Effect of Ginkgo biloba leaves on the removal efficiency of Cr(VI) in soil and its underlying mechanism*. Environmental Research, 1/216 (2023). National Library of Medicine. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36167113/>.

FITOREMEDIACIJSKI POTENCIAL KONOPLJE (*Canabis sativa* L.)

Samo Natek
Biomons1, Pondor
samo.natek@gmail.com

Povzetek

*Onesnaženje tal je eden izmed ključnih okoljskih problemov, ki močno vpliva na kakovost ekosistemov, zdravje ljudi in produktivnost kmetijskih površin. Članek preučuje različne metode remediacije tal, s posebnim poudarkom na fitoremediaciji, vključno z uporabo konoplje (*Cannabis sativa* L.), kot trajnostne in stroškovno učinkovite rešitve za čiščenje težkih kovin in drugih onesnaževal. Poleg tega je obravnavan pomen ozelenjevanja degradiranih površin kot integralnega dela obnove ekosistemov in ponovne uporabe zemljišč. Razprava vključuje tudi pregled trenutnih raziskav ter primerov dobrih praks v Sloveniji in širše.*

Abstract

*Soil pollution is one of the most important environmental problems that severely affects the quality of ecosystems, human health and the productivity of agricultural land. The article examines various methods of soil remediation with particular emphasis on phytoremediation, including the use of hemp (*Cannabis sativa* L.) as a sustainable and cost-effective solution for cleaning heavy metals and other pollutants. It also discusses the importance of revegetation of degraded areas as an integral part of ecosystem restoration and land reuse. The discussion will also include an overview of current research and examples of best practice in Slovenia and beyond.*

Ključne besede: remediacija tal, fitoremediacija, konoplja, trajnost, degradirane površine

Keywords: soil remediation, phytoremediation, hemp, sustainability, degraded areas

1 Uvod

Onesnaženje tal je resen globalni problem, ki neposredno vpliva na okolje, zdravje ljudi in gospodarstvo. Glavni viri onesnaženja vključujejo industrijsko dejavnost, nepravilno odlaganje odpadkov, intenzivno kmetijstvo ter uporabo pesticidov in herbicidov. Posledice teh dejavnosti so onesnažena tla, ki niso več primerna za kmetijsko pridelavo, poleg tega pa onesnaževala pogosto pronicajo v podzemne vode, kar predstavlja še dodatno tveganje.

V Sloveniji so med najbolj prizadetimi območji rudniške regije, kot je Mežica, kjer so tla onesnažena s težkimi kovinami, kot so svinec, kadmij in cink. Podobne težave se pojavljajo na območjih z opuščenimi industrijskimi objekti in odlagališči odpadkov. Ti problemi ne vplivajo le na okolje, temveč tudi na lokalno prebivalstvo, ki je izpostavljeno povečanim tveganjem za zdravstvene težave.

Cilj tega članka je raziskati inovativne in trajnostne metode za remediacijo onesnaženih tal, vključno z uporabo konoplje, ter poudariti pomen ozelenjevanja degradiranih površin. Fitoremediacija, ki vključuje uporabo rastlin za odstranjevanje onesnaževal iz tal, predstavlja eno izmed najbolj obetavnih tehnik, saj je okolju prijazna, dostopna in stroškovno učinkovita. Poleg tega ozelenjevanje omogoča dolgoročno stabilnost ekosistemov in izboljšuje kakovost življenja prebivalcev na prizadetih območjih.

2 Metode remediacije tal

Remediacija tal vključuje različne pristope za odstranjevanje ali zmanjšanje koncentracij onesnaževal v prizadetih tleh. Ti pristopi se razlikujejo glede na vrsto onesnaževal, specifične pogoje tal in razpoložljiva sredstva. Glavne metode remediacije lahko razdelimo na fizikalno-kemijske in biološke.

2.1 Fizikalno-kemijske metode

Fizikalno-kemijske metode so pogosto prve izbire pri visoko onesnaženih območjih, kjer je potrebna hitra sanacija. Mednje sodijo:

- **Termična obdelava:** Onesnažena tla se segrejejo na visoke temperature, kar povzroči izhlapevanje hlapnih onesnaževal, kot so nafta in organski topili.
- **Odstranjevanje onesnaženih slojev:** Kontaminirane plasti tal se mehansko odstranijo in obdelajo na posebej prilagojenih lokacijah.
- **Kemična stabilizacija:** Dodajanje reagentov, ki onesnaževala pretvorijo v manj mobilne in manj toksične oblike.

Te metode so zelo učinkovite, vendar pogosto drage, energetsko intenzivne in potencialno škodljive za okoliški ekosistem.

2.2 Biološke metode

Biološke metode so trajnostna alternativa fizikalno-kemijskim tehnikam. Te metode vključujejo uporabo mikroorganizmov, gliv ali rastlin za razgradnjo ali stabilizacijo onesnaževal. Med najbolj razširjenimi biološkimi metodami je fitoremediacija, ki vključuje uporabo rastlin.

3 Fitoremediacija

Fitoremediacija je proces, pri katerem rastline absorbirajo, stabilizirajo ali transformirajo onesnaževala v tleh. Ta metoda je trajnostna, cenovno dostopna in ima minimalen vpliv na okolje. Fitoremediacija je še posebej učinkovita pri odstranjevanju težkih kovin in organskih spojin.

3.1 Mehanizmi fitoremediacije

Fitoremediacija vključuje več mehanizmov, ki so prilagojeni različnim vrstam onesnaževal:

- **Fitoekstrakcija:** Rastline absorbirajo onesnaževala, kot so težke kovine, skozi koreninski sistem in jih akumulirajo v nadzemnih delih. Primer rastline za fitoekstrakcijo je gorjušica (*Brassica juncea*), ki učinkovito akumulira svinec in kadmij.
- **Fitostabilizacija:** Rastline zmanjšajo mobilnost onesnaževal z vezavo na koreninski sistem ali talne minerale, kar preprečuje širjenje kontaminacije.
- **Fitovolatilizacija:** Nekatere rastline lahko onesnaževala pretvorijo v hlapne spojine, ki se sprostijo v atmosfero.

- **Rizofiltracija:** Rastline odstranjujejo onesnaževala iz vode, kar je posebej uporabno na območjih z visokimi podtalnicami.

3 Konoplja kot rastlina za remediacijo

Konoplja (*Cannabis sativa L.*) se je v zadnjih letih izkazala kot ena izmed najučinkovitejših rastlin za fitoremediacijo, zlasti zaradi svoje visoke tolerance na težke kovine, hitro rastoče biomase in globokega koreninskega sistema.

Prednosti uporabe konoplje:

- **Absorpcija težkih kovin:** Študije so pokazale, da konoplja lahko akumulira svinec, kadmij in nikelj v nadzemnih delih, kar omogoča varno odstranjevanje kontaminacije.
- **Hitra rast:** Konoplja doseže polno rast v nekaj mesecih, kar omogoča hitro pokritje degradiranih površin.
- **Prilagodljivost:** Rastlina uspeva na različnih vrstah tal, vključno z marginalnimi in degradiranimi zemljišči.
- **Uporaba biomase:** Po končanem procesu remediacije se lahko biomasa konoplje uporabi za proizvodnjo bioenergije, tekstila ali drugih industrijskih produktov, kar povečuje gospodarsko vrednost procesa.

4 Primer dobre prakse

V Italiji, na območju Taranta, ki je bilo močno onesnaženo zaradi industrijske proizvodnje, so uporabili konopljo za odstranjevanje težkih kovin iz tal. Po dveh letih so zabeležili zmanjšanje koncentracij svinca in kadmija v tleh, hkrati pa so ustvarili dodano vrednost z uporabo rastlinske biomase v lokalni industriji.

Fitoremediacija, zlasti z uporabo konoplje, predstavlja okolju prijazen in stroškovno učinkovit način za remediacijo tal. Ta metoda ima velik potencial, še posebej v državah, kot je Slovenija, kjer so degradirane površine pogosto omejene in potrebujejo hitre, a trajnostne rešitve.

5 Ozelenjevanje degradiranih površin

Ozelenjevanje degradiranih površin je ključni korak k obnovi ekosistemov in povrnitvi funkcionalnosti tal. Degradirane površine, ki nastanejo zaradi intenzivne industrijske rabe, rudarjenja ali urbanizacije, pogosto izgubijo sposobnost naravne regeneracije. Zato je nujno, da se uvedejo ukrepi za obnovo teh območij.

5.1 Pomen ozelenjevanja

Ozelenjevanje degradiranih površin ima večdimenzionalne koristi, ki vključujejo:

- **Zmanjšanje erozije tal:** Rastline stabilizirajo tla in preprečujejo erozijo zaradi vetra in vode.
- **Povečanje biotske raznovrstnosti:** Uvajanje avtohtonih rastlinskih vrst omogoča vrnitev številnih živalskih in rastlinskih vrst.
- **Izboljšanje kakovosti zraka in vode:** Vegetacija zmanjšuje količino prašnih delcev v zraku in filtrira onesnaževala iz vode.
- **Estetska in rekreacijska vrednost:** Zelenje na degradiranih območjih izboljša krajino in ponuja prostor za rekreacijo ter družbene dejavnosti.

5.2 Metode ozelenjevanja

Ozelenjevanje vključuje različne pristope, odvisno od stopnje degradacije in ciljev obnove:

5.2.1 Naravna regeneracija

Naravna regeneracija vključuje opustitev območja, da se vegetacija obnovi brez človekovega posega. Ta metoda je stroškovno učinkovita, vendar zahteva daljše časovno obdobje in je primerna le za območja z nizko stopnjo degradacije.

5.2.2 Aktivno ozelenjevanje

Aktivno ozelenjevanje vključuje zasaditev rastlin, ki so posebej izbrane glede na lokalne razmere:

- **Zasaditev trav in grmovnic** za stabilizacijo tal.
- **Zasaditev dreves** za dolgoročno obnovo ekosistemov in zmanjšanje emisij ogljikovega dioksida.
- **Uporaba fitoremediacijskih rastlin**, kot je konoplja, za odstranjevanje onesnaževal pred končno zasaditvijo.

5.2.3 Kombinirani pristopi

V praksi so pogosto uporabljeni kombinirani pristopi, ki združujejo uporabo fitoremediacije za odstranjevanje onesnaževal in kasnejše zasaditve trajne vegetacije za stabilizacijo in obnovo ekosistema.

5.3 Primeri dobre prakse

5.3.1 Revitalizacija območja Šaleške doline

Šaleška dolina, ki je bila močno prizadeta zaradi izkopavanja lignita in industrijske dejavnosti, predstavlja primer uspešne revitalizacije. Po zaprtju nekaterih rudnikov so bila degradirana območja obnovljena z zasaditvijo avtohtonih drevesnih vrst, kot so bukev, smreka in hrast. Danes so ta območja prepoznana kot dragoceni habitati za številne živalske vrste.

5.3.2 Preoblikovanje zapuščenih rudnikov v rekreacijske parke

Na območju Posočja so nekateri zapuščeni rudniki preoblikovani v rekreacijske parke. Poleg zasaditve avtohtonih rastlin so bili zgrajeni tudi učni in sprehajalni poti, kar omogoča lokalni skupnosti in turistom boljše razumevanje okoljske trajnosti.

5.3.3 Uporaba travniških rastlin na degradiranih območjih

V Sloveniji so se v več primerih uporabile travniške rastline za hitro obnovo erodiranih območij. Travnike vrste, kot so bilnica (*Festuca*) in rman (*Achillea*), se hitro razrastejo, stabilizirajo tla in izboljšajo njihovo strukturo.

5.4 Trajnostno načrtovanje ozelenjevanja

Za trajnostni uspeh ozelenjevanja je ključno, da se načrti izvajajo v sodelovanju z lokalnimi skupnostmi, saj so te najbolj neposredno prizadete in vključene v dolgoročno rabo zemljišč. Poleg tega morajo projekti vključevati:

- **Oceno stanja tal in okolja:** Predhodna analiza tal, da se izberejo primerne vrste rastlin.
- **Vključevanje avtohtonih vrst:** Avtohtone rastline so bolj prilagojene lokalnim razmeram in imajo večjo možnost preživetja.
- **Spremljanje in vzdrževanje:** Po zaključku ozelenjevanja je potrebno dolgoročno spremljanje uspešnosti projekta in prilagajanje ukrepov.

Ozelenjevanje degradiranih površin je ključnega pomena za obnovo ekosistemov in izboljšanje kakovosti življenja na prizadetih območjih. Učinkoviti pristopi, ki vključujejo trajnostno načrtovanje in uporabo avtohtonih vrst, lahko prinesejo trajne koristi za okolje in skupnosti. Slovenija, s številnimi prizadetimi območji, ima priložnost, da postane zgled v trajnostnem ravnanju z degradiranimi zemljišči.

6 Razprava

6.1 Prednosti metod remediacije in ozelenjevanja

Uporaba bioloških metod, kot sta fitoremediacija in bioremediacija, ima številne prednosti v primerjavi s tradicionalnimi fizikalno-kemijskimi metodami. Te prednosti vključujejo:

- **Trajnost:** Rastline in mikroorganizmi ne ustvarjajo sekundarnih odpadkov, kar pomeni, da so ti pristopi okolju prijaznejši.
- **Dostopnost in stroškovna učinkovitost:** Fitoremediacija, še posebej z uporabo konoplje, je dostopna metoda, ki ne zahteva drage tehnologije ali opreme.
- **Povečana biotska raznovrstnost:** Zasaditev rastlin na degradiranih območjih omogoča vrnitev lokalnih živalskih in rastlinskih vrst ter krepi ekosisteme.

Poleg tega ozelenjevanje degradiranih površin ni le okoljska, temveč tudi socialna in ekonomska rešitev. Z revitalizacijo območij lahko ustvarimo nove priložnosti za lokalno skupnost, na primer v obliki turističnih točk, izobraževalnih parkov ali mestnih zelenih površin.

6.2 Izzivi in omejitve

Kljub številnim prednostim se fitoremediacija in ozelenjevanje soočata tudi z izzivi:

- **Časovna zahtevnost:** Biološke metode pogosto zahtevajo več časa kot fizikalno-kemijske rešitve, kar je lahko problematično v primerih, kjer so potrebni takojšnji ukrepi.
- **Specifičnost rastlin:** Uspeh fitoremediacije je močno odvisen od izbire rastlin. Na primer, konoplja ni primerna za vse vrste onesnaževal ali tal.
- **Kombinacija onesnaževal:** V mnogih primerih so tla onesnažena z več vrstami onesnaževal, kar zahteva kompleksne rešitve in pogosto kombinacijo metod.
- **Dolgotrajno vzdrževanje:** Po zaključenem procesu remediacije je pogosto potrebno dolgotrajno spremljanje, da zagotovimo uspeh in preprečimo ponovno kontaminacijo.

6.3 Priložnosti za uporabo konoplje v Sloveniji

Slovenija ima zaradi svoje geografske raznolikosti in zgodovinske uporabe konoplje velik potencial za uporabo te rastline pri fitoremediaciji. Na primer:

- Na območjih Mežiške doline, kjer so tla onesnažena s svincem, bi lahko uporabili konopljo za postopno zmanjševanje koncentracij težkih kovin.

- Konoplja bi lahko bila primerna za revitalizacijo zapuščenih industrijskih območij, kjer bi se biomasa uporabila za proizvodnjo bioenergije ali tekstilnih materialov.

Poleg tega bi lahko raziskovalne institucije v Sloveniji igrale ključno vlogo pri nadaljnjem razvoju fitoremediacijskih tehnologij in prenosu znanja na lokalne skupnosti.

6.4 Globalni pomen in vpliv

Na globalni ravni fitoremediacija in ozelenjevanje postajata ključna dela strategij za spopadanje s podnebnimi spremembami in obnovo ekosistemov. Na primer:

- V Indiji so fitoremediacijo uporabili za odstranjevanje težkih kovin iz tal v urbanih območjih, kar je izboljšalo kakovost življenja prebivalcev.
- V Italiji je bil projekt v Tarantu, kjer so uporabili konopljo za sanacijo tal, priznan kot eden izmed najbolj inovativnih primerov v Evropi.

Ti primeri poudarjajo, da lahko Slovenija s svojimi prizadevanji prispeva k globalnim ciljem, hkrati pa koristi lokalnim skupnostim.

Čeprav so biološke metode remediacije in ozelenjevanja relativno nove, so že dokazale svojo vrednost kot trajnostne rešitve za reševanje okoljskih problemov. S pravilno izbiro metod in sodelovanjem med znanstveniki, odločevalci in lokalnimi skupnostmi lahko Slovenija izkoristi priložnosti za obnovo svojih degradiranih površin ter postane zgled trajnostnega ravnanja z okoljem.

7 Zaključek

Onesnaženje tal in degradacija površin sta med največjimi okoljskimi izzivi sodobnega časa. Sanacija tal in obnova ekosistemov zahtevata celosten in trajnosten pristop, ki združuje znanstvene rešitve, inovacije ter vključevanje lokalnih skupnosti.

Biološke metode, kot sta fitoremediacija in bioremediacija, predstavljajo obetavne rešitve, saj omogočajo okolju prijazno in stroškovno učinkovito remediacijo tal. Uporaba konoplje kot fitoremediacijske rastline izstopa zaradi njene sposobnosti odstranjevanja težkih kovin, hitre rasti in možnosti uporabe biomase za druge namene. Hkrati pa ozelenjevanje degradiranih površin ne zagotavlja le stabilnosti tal, temveč tudi povečuje biotsko raznovrstnost in izboljšuje kakovost življenja lokalnih skupnosti.

Za dolgoročno uspešnost teh metod je ključno:

- **Raziskovanje in razvoj:** Potrebne so dodatne raziskave, ki bi natančneje preučile vpliv konoplje in drugih rastlin na različne vrste onesnaževal ter določile optimalne pogoje za njihovo uporabo.
- **Sodelovanje:** Sodelovanje med raziskovalnimi institucijami, industrijo in lokalnimi skupnostmi je ključno za razvoj učinkovitih strategij in širšo implementacijo teh metod.
- **Izobraževanje in ozaveščanje:** Povečanje ozaveščenosti javnosti o pomembnosti remediacije in ozelenjevanja lahko spodbudi večjo podporo trajnostnim praksam.
- **Politike in financiranje:** Ustrezni politični okvirji in finančna podpora so nujni za spodbujanje trajnostnih rešitev in zagotavljanje sredstev za izvedbo projektov.

Slovenija ima kot država z bogato naravno dediščino in velikim številom degradiranih območij priložnost, da postane vodilna na področju trajnostne remediacije tal in ozelenjevanja. Z vključitvijo

inovativnih metod, kot je fitoremediacija s konopljo, lahko zagotovi dolgoročno ohranitev naravnih virov in boljšo kakovost življenja za svoje prebivalce.

8 Literatura in viri

Cunningham, S. D., & Ow, D. W. (1996). Promises and prospects of phytoremediation. *Plant Physiology*, 110(3), 715–719.

Gadd, G. M. (2004). Microbial influence on metal mobility and application for bioremediation. *Geoderma*, 122(2–4), 109–119.

Vangronsveld, J., & Cunningham, S. D. (Eds.). (1998). *Metal-contaminated soils: In situ inactivation and phyto restoration*. Springer Science & Business Media.

Barceló, J., & Poschenrieder, C. (2003). Phytoremediation: Principles and perspectives. *Contributions to Science*, 2(3), 333–344.

Pilon-Smits, E. (2005). Phytoremediation. *Annual Review of Plant Biology*, 56, 15–39.

REVITALIZACIJA DEGRADIRANIH TAL, ONESNAŽENIH Z ORGANSKIMI SNOVMI

Ožbej Ivan ZORKO

JPZ Janez ZORKO s.p.

i.p.zorko@gmail.com,

kristina.zorko89@gmail.com

Povzetek

Tla so pomemben in kompleksen ekosistem, ki vključuje različne procese, od tvorbe biomase do filtracije vode in kroženja ogljika, obenem pa so tudi habitat bogate biotske raznovrstnosti. Zaradi počasnega nastajanja in občutljivosti so tla obravnavana kot neobnovljiv vir, ki je izpostavljen različnim vrstam onesnaženja. Kontaminacija tal zajema višje koncentracije onesnažil, kot jih dopušča naravni izvor, medtem ko onesnaženje pomeni preseganje teh vrednosti, kar negativno vpliva na okolje in zdravje. Onesnaženje s snovmi, kot so policiklični aromatski ogljikovodiki, poliklorirani bifenili in insekticidi, zmanjšuje biotsko pestrost tal in prispeva k degradaciji ekosistemov. Ena od rešitev za tovrstno degradacijo je bioremediacija, ki uporablja mikroorganizme za razgradnjo nevarnih organskih spojin. Mikrobní konzorciji so pri tem učinkovitejši od posameznih mikroorganizmov zaradi medsebojnega sodelovanja pri razgradnji kompleksnih spojin, ki poteka hitreje in je učinkovitejša.

Abstract

Soils are an important and complex ecosystem in which various processes take place, from biomass formation to water filtration and carbon cycling, and they are also the habitat of a large biodiversity. Due to their slow formation and sensitivity, soils are considered a non-renewable resource that is subject to various types of pollution. Contamination of soils involves higher concentrations of pollutants than their natural sources allow, while pollution means exceeding these levels, which has a negative impact on the environment and health. Pollution with substances such as polycyclic aromatic hydrocarbons, polychlorinated biphenyls and insecticides reduces soil biodiversity and contributes to the degradation of ecosystems. One solution to this type of degradation is bioremediation, which uses microorganisms to break down hazardous organic compounds. Consortia of microbes are more effective than individual microorganisms because they work together to break down complex compounds faster and more efficiently.

Ključne besede: mikroorganizmi, degradacija tal, organska onesnažila, bioremediacija, konzorcij mikroorganizmov, biološki spodbujevalci

Keywords: microorganisms, soil degradation, organic pollutants, bioremediation, consortium of microorganisms, biological enhancer

1 Uvod

Tla lahko na enostaven način opišemo kot preperelo in spremenjeno zgornjo plast Zemljine skorje, ki je sestavljena iz zdrobljenih kamnin ter organskih snovi (Fran, 2016). Prav tako lahko tla razumemo kot naravni sestav, ki ga tvorijo različni talni horizonti (Vrščaj, 2017). Vrsta prisotnih horizontov in njihova razporeditev definirata različne tipe tal. Posamezen tip tal je določen z matično kamnino in delovanjem specifičnih pedogenetskih procesov. Pedogeneza, proces nastajanja tal, je z vidika človeškega življenja in celotnega človeštva zelo dolg in zato tla uvrščamo med neobnovljive vire. Za nastanek približno dveh centimetrov najrodovitnejše zgornje plasti tal je potrebnih okoli 500 let (Suhadolc et al., 2010).

Med ekosistemske storitve tal prištevamo tudi tvorbo oz. prirast biomase, kar vključuje pridelavo hrane za ljudi, živalsko krmo, rastline za energetske uporabo (npr. oljnice), zdravilne in okrasne rastline ter drevnine. Poleg tega ta kategorija zajema tudi gozdno rastje in prirast lesne biomase, ki se uporablja za izdelavo papirja, pohištva in drugih lesnih izdelkov, pa tudi pridelavo surovin, kot so bombaž, lan in pluta za oblačila in druge namene (Daily, 2000).

Ena od pomembnih ekosistemskih funkcij tal je filtracija meteorne in površinske vode. Pri tem procesu tla zadržijo organske in mineralne delce ter vodo očistijo škodljivih spojin in onesnažil, ki pogosto vključujejo ostanke fitofarmaceutskih sredstev in nekatere organske spojine. Poleg tega v vodo pogosto prehajajo tudi težko razgradljive organske spojine in težke kovine. Med prehajanjem skozi tla se kemijska sestava vode spreminja, saj se ta obogati z minerali, kot so kalcij, mangan in železo (Vrščaj, 2017).

Tla imajo ključno vlogo v naravnem ciklu kroženja ogljika, saj so pomemben ponor ogljikovega dioksida, ki ga vežejo in sproščajo. Zaradi biotske aktivnosti v tleh poteka proces mineralizacije, pri katerem se razgrajujejo rastlinski in živalski ostanki. Ta proces razkroja organske snovi na hranila, ki jih rastline potrebujejo za rast. Ob tem se sprošča ogljik in omogoča kroženje mikro- in makrohranil ter energije (Vrščaj, 2017).

Tla so ekosistem z izjemno biotsko raznovrstnostjo in predstavljajo največji rezervoar genskega materiala. So življenjski prostor številnih mikro- in makroorganizmov, ki so za človeka bodisi posredno bodisi neposredno koristni (Zorko, 2020).

Z naraščanjem števila prebivalstva in njegovimi vse večjimi potrebami tako po hrani kot tudi bivanjskem prostoru je revitalizacija že degradiranih območij vse večja prioriteta.

2 Kontaminacija in onesnaženje tal

Pojma kontaminacija in onesnaženje tal nista enaka. Do kontaminacije tal pride takrat, ko je koncentracija onesnažil (organskega ali anorganskega izvora) višja, kot bi lahko bila samo zaradi naravnih dejavnikov, a ne povzroča škode (Zorko, 2020). Onesnaženje tal, pa se nanaša na prisotnost onesnažil (organske ali anorganske substance), katere prisotnost in količina presegata naravne koncentracije te substance v okolju, kar negativno vpliva na netargetirane organizme (FAO in ITPS, 2015). Onesnaženje tal kot rezultat človekovih dejavnosti je globalen problem (Bundschuh et al., 2012). Lokacijsko je lahko onesnaženje tal točkovno (lokalno) ali razpršeno.

Lokalno onesnaženje tal je vezano na posamezne lokacije industrijskih obratov, odlagališč odpadkov, rudnikov, lokacij nesreč, pri katerih je prišlo do izpusta nevarnih snovi, na mestih neustreznega gnojenja in obdelave tal z gnojili in škropivi ali na mestih vojaških aktivnosti

(oboroženi spopadi, poligoni, strelišča) (Maas et al., 2010). Točkovno onesnaženje je pogostejše v urbanih okoljih (v bližini cest), v okolici starih deponij in divjih odlagališč odpadkov ali mest, kjer je prišlo do izpustov komunalnih voda v vodne vire (Claridge et al., 1995). Razpršena kontaminacija je rezultat onesnažila, ki je v okolje prišlo nekje drugje in ga je v tla na določeno mesto prinesel drug medij (veter, voda, človek). Trije najpogostejši načini disperzije onesnažil so atmosfersko odlaganje, prenos zaradi kmetijstva in zaradi poplav. Glavni viri razpršenega onesnaženja so pretirana uporaba gnojil in pesticidov, herbicidov, težkih kovin, težko razgradljivih organskih in anorganskih onesnažil (Posthuma in Suter, 2011).

3 Onesnaženje z organskimi snovmi

Slovenska zakonodaja z Uredbo o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh (1996) določa šest glavnih skupin organskih onesnažil, ki prispevajo k degradaciji tal. Prva skupina so policiklični aromatski ogljikovodiki (PAH – *polycyclic aromatic hydrocarbons*), med katere spadajo naftalen, antracen, fenantren, fluoranten, benzo(a)antracen, krizen, benzo(a)piren, benzi(ghi)perilen, benzo(k)fluoranten in ideni(1,2,3)-piren. Ta onesnažila nastajajo pri nepopolnem izgorevanju naravne vegetacije, fosilnih goriv in drugih organskih snovi ter so prisotni tudi v naravnem okolju (Krmc, 2020).

Druga pomembna skupina so poliklorirani bifenili (PCB – *polychlorinated biphenyls*), ki jih označujemo glede na število ogljikovih atomov (Mavsar, 2019). Po analizi tal v Sloveniji so PCB-ji prisotni v 35 % vzorcev, vendar so bile koncentracije v večini primerov pod mejo določljivosti (34 %) (Zupan et al., 2008).

V posebno skupino sodi insekticid DDT, skupaj z njegovimi razgradnimi produkti DDD in DDE. Čeprav je njegova uporaba v Sloveniji prepovedana že več kot 35 let, je DDT še vedno zaznan v zgornjih slojih tal zaradi svoje visoke obstojnosti. Med problematične fitofarmacevtske izdelke sodijo tudi t.i. drini, kot so insekticidi aldrin, dieldrin in endrin. Klorirani ogljikovodiki vključujejo tudi nekatere fitofarmacevtske pripravke, med katerimi sta atrazin in simazin, že dolgo prepovedana herbicida, ki se še vedno pojavljata v tleh in podtalnici (Zupan et al., 2008).

Tla so tako podvržena različnim onesnažilom, ki vplivajo na njihovo kakovost in rodovitnost. Pesticidi in herbicidi (vključno s POP – obstojnimi organskimi onesnažili) lahko zmanjšujejo biotsko pestrost tal in škodujejo organizmom, kot so mikrobi in deževniki, kar vodi v neravnovesja v ekosistemu. Poleg tega nafta in njeni produkti, kot so PAH, ob onesnaženju tal ustvarijo trajne okoljske težave, saj škodijo rodovitnosti tal in predstavljajo nevarnost za zdravje ljudi. Farmacevtski in drugi osebni izdelki (PPCP), kot so antibiotiki in hormoni, prav tako vstopajo v tla preko gnojenja z živalskim gnojem ali komunalnim blatom, kar lahko vodi do odpornosti mikroorganizmov proti antibiotikom (Krmc, 2020).

Tovrstna organska onesnažila zmanjšujejo mikrobne populacije, omejujejo raznolikost organizmov v tleh in prispevajo k odpornosti proti antibiotikom, kar vpliva na zmanjšanje ekološke odpornosti tal. Dolgotrajno kopičenje teh onesnažil v tleh pomeni trajno degradacijo tal, zmanjšuje njihovo produktivnost in ogroža stabilnost ekosistemov.

Dodatno pa posebno področje o vnosu nevarnih snovi in gnojil v tla ureja Uredba o mejnih vrednostih vnosa nevarnih snovi in gnojil v tla. Kot potencialna onesnažila, katerih presežna količina bi lahko negativno vplivala na ekosistem, predvideva tudi blato iz čistilnih naprav, kompost, mulj in tudi živinska gnojila.

4 Bioremediacija s pomočjo konzorcija mikroorganizmov in bioloških spodbujevalcev

Bioremediacija je proces, ki uporablja mikroorganizme (npr. bakterije, glive in alge) za razgradnjo onesnažil. Mikroorganizmi razgradijo onesnažila v netoksične produkte, kar omogoča okolju prijazno čiščenje. Uspešnost metode je odvisna od okoljskih dejavnikov, kot so vrsta tal, biotska pestrost in podnebne razmere (Lim et al., 2016). Ta metoda vključuje *biostimulacijo* (spodbujanje rasti že prisotnih mikroorganizmov) in *bioaugmentacijo* (dodajanje specifičnih mikrobov, ki v naravi niso prisotni), kjer se glede na onesnažila izberejo mikroorganizmi, kot so bakterije rodu *Pseudomonas*, *Burkholderia*, in glive rodu *Fusarium* (Nzila, 2018).

Toksična organska onesnažila v okolju predstavljajo potencialne grožnje za ekosisteme in zdravje ljudi. **Konzorciji mikroorganizmov** kažejo učinkovite strategije razgradnje organskih onesnažil z različnimi encimi in z različnimi razgradnimi potmi (Lü et al., 2024).

Trenutno obogateni mikrobni konzorciji, uporabljeni za kontaminirana tla, sediment in odpadne vode, izkazujejo visoko učinkovitost razgradnje policikličnih aromatskih ogljikovodikov, fenolov in ftalatov ter nekaterih drugih obstojnih organskih spojin (Lü et al., 2024).

Raziskave kažejo, da je učinkovitost razgradnje nevarnih organskih spojin veliko hitrejša in učinkovitejša, če uporabimo mikrobni konzorcij kot pa posamezne mikrobne vrste (Lü et al., 2024).

Zakaj so, v primerjavi z uporabo posameznih sevov, učinkovitejši:

navzkrižno hranjenje: organizem proizvaja rastne faktorje (kot so npr. vitamini ali specifične aminokisline, ki so nujno potrebne za rast drugega mikroorganizma. Ta proces navzkrižnega hranjenja med bakterijskimi sevi je v naravi nekaj običajnega.

Odstranjevanje toksičnih vmesnih spojin: med procesom razgradnje lahko nastajajo tudi vmesne spojine, ki lahko v določenih pogojih postanejo toksične za organizem, ki je odgovoren za razgradnjo začetnega onesnažila. V primeru konzorcija mikroorganizmov drugi predelajo/nevtralizirajo/odstranijo toksične spojine in primarnemu mikroorganizmu omogočajo uspešno nadaljno razgradnjo prvotne spojine.

Sekvenčna razgradnja: pri razgradnji kompleksnih spojin je določen mikroorganizem sposoben opraviti le nekatere korake razgradnje. Da bi dosegli bolj celovito razgradnjo je priporočljiva prisotnost drugih mikroorganizmov, ki bodo izvedli naslednje korake razgradnje.

Biološki spodbujevalci pa poleg konzorcija mikroorganizmov pogosto vsebujejo tudi encime, hranila, vitamine in mikrobne rastne faktorje, ki še dodatno izboljšajo učinkovitost razgradnje onesnažil (Andreoli et al., 2016).

5 Zaključek

Tla so bistveni del ekosistema, katerega funkcionalnost in rodovitnost močno vplivata na trajnostno proizvodnjo hrane in kakovost okolja. Onesnaženje tal, ki ga povzročajo človeške dejavnosti, predstavlja globalen problem, saj zmanjšuje produktivnost tal in škoduje ekosistemom. Z metodo bioremediacije lahko zmanjšamo prisotnost toksičnih organskih spojin v tleh in tako pripomoremo k njihovemu ohranjanju in revitalizaciji. Z uporabo mikrobni konzorcijev pri bioremediaciji omogočamo učinkovitejšo razgradnjo kompleksnih onesnažil, kar je pomembno za dolgoročno stabilnost ekosistemov in kakovost tal za prihodnje generacije.

Pomena tal se pogosto zavedamo šele takrat, ko zaradi degradacije ne morejo več opravljati svojih ključnih funkcij – ko se soočimo s pomanjkanjem hrane, pojavom onesnažil v pitni vodi ali z odpornimi bakterijami, ki ne reagirajo več na večino antibiotikov. Ob omembi dragocenih neobnovljivih virov nam najprej pridejo na misel naftni derivati, vendar pozabljamo, da so tudi tla, gledano z vidika človeštva, prav tako neobnovljiv naravni vir.

6 Viri in literatura

Andreolli, M., Albertarelli, N., Lampis, S., Brignoli, P., Khoei, N. S., in Vallini, G. (2016). Bioremediation of diesel contamination at an underground storage tank site: A spatial analysis of the microbial community. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 32(1), 6. <https://doi.org/10.1007/s11274-015-1967-2>

Bundschuh, J., Litter, M. I., Parvez, F., Román-Ross, G., Nicolli, H. B., Jean, J.-S., Liu, C.-W., López, D., Armienta, M. A., Guilherme, L. R. G., Cuevas, A. G., Cornejo, L., Cumbal, L., in Toujaguez, R. (2012). One century of arsenic exposure in Latin America: A review of history and occurrence from 14 countries. *Science of The Total Environment*, 429, 2–35. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.06.024>

Claridge, G. G. C., Campbell, I. B., Powell, H. K. J., Amin, Z. H., in Balks, M. R. (1995). Heavy metal contamination in some soils of the McMurdo Sound region, Antarctica. *Antarctic Science*, 7(1), 9–14. <https://doi.org/10.1017/S0954102095000034>

Daily, G. C. (2000). Management objectives for the protection of ecosystem services. *Environmental Science in Policy*, 3(6), 333–339. [https://doi.org/10.1016/S1462-9011\(00\)00102-7](https://doi.org/10.1016/S1462-9011(00)00102-7)

FAO, in ITPS. (2015). *Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report*. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils. <http://www.fao.org/3/i5199e/i5199e.pdf>

Fran: Slovarji Inštituta za slovenski jezik Frana Ramovša ZRC SAZU. (2016). Ljubljana: Inštitut za slovenski jezik Frana Ramovša ZRC SAZU. <http://www.fran.si>

Krmc, K. (2020). *Sanacija tal onesnaženih s potencialno nevarnimi organskimi snovmi* [Diplomsko delo, K. Krmc]. Repozitorij Univerze v Ljubljani. <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?lang=slv&id=120717>

Lim, M. W., Lau, E. V., in Poh, P. E. (2016). A comprehensive guide of remediation technologies for oil contaminated soil - Present works and future directions. *Marine pollution bulletin*, 109(1), 14–45. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.04.023>

Lü, H., Wei, J.-L., Tang, G.-X., Chen, Y.-S., Huang, Y.-H., Hu, R., Mo, C.-H., Zhao, H.-M., Xiang, L., Li, Y.-W., Cai, Q.-Y., in Li, Q. X. (2024). Microbial consortium degrading of organic pollutants: Source, degradation efficiency, pathway, mechanism and application. *Journal of Cleaner Production*, 451, 141913. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141913>

Maas, S., Scheifler, R., Benslama, M., Crini, N., Lucot, E., Brahmia, Z., Benyacoub, S., in Giraudoux, P. (2010). Spatial distribution of heavy metal concentrations in urban, suburban and agricultural soils in a Mediterranean city of Algeria. *Environmental Pollution*, 158(6), 2294–2301. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.02.001>

Nzila, A. (2018). Biodegradation of high-molecular-weight polycyclic aromatic hydrocarbons under anaerobic conditions: Overview of studies, proposed pathways and future perspectives. *Environmental Pollution*, 239, 788–802. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.04.074>

Posthuma, L., in Suter, G. W. (2011). Ecological Risk Assessment of Diffuse and Local Soil Contamination Using Species Sensitivity Distributions. V F. A. Swartjes (Ur.), *Dealing with Contaminated Sites: From Theory towards Practical Application* (str. 625–691). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-90-481-9757-6_14

Suhadolc, M., Sušnik, A., Lobnik, F., Kajfež Bogataj, L., Gregorič, G., in Bergant, K. (2010). *Izzivi Slovenije na področju suš in degradacije tal – Uresničevanje ciljev Konvencije ZN o boju proti degradaciji/dezertifikaciji tal (UNCCD)*. Ljubljana: Agencija RS za okolje. https://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/agromet/product/document/sl/IZZIVI_Slovenije_na_podrocju_sus_in_degradacije_tal.pdf

Vrščaj, B. (2017). *Lastnosti, pestrost in ekosistemske storitve tal*. Nazarje: Kmetijski Inštitut Slovenije. https://www.kis.si/f/docs/Obvestila/Lastnosti_pestrost_in_ekosistemske_storitve_tal.pdf

Zorko, K. (2020). *Tla, varnost tal in globalni varnostni izzivi* [Magistrsko delo, K. Zorko]. Digitalna knjižnica Univerze v Mariboru – DKUM. <https://dk.um.si/IzpisGradiva.php?id=76209>

Zupan M., Grčman H., Lobnik F. 2008. Organske nevarne snovi v tleh. V: Raziskave onesnaženosti tal Slovenije. Ljubljana, Narodna univerzitetna knjižnica: 38-41. <https://www.gov.si/assets/organi-v-sestavi/ARSO/Tla/Publikacija-Raziskave-onesnazenosti-tal-Slovenije-1989-2007.pdf>

IZZIVI REKULTIVACIJE DEGRADIRANIH RUDNIŠKIH POVRŠIN PO ZAKLJUČENEM IZKORIŠČANJU MINERALNIH SUROVIN

mag. Aleš Lamot, mag. Marko Ranzinger

Premogovnik Velenje, d.o.o.

marko.ranzinger@rlv.si, ales.lamot@rlv.si

Povzetek

Rudarjenje mineralnih surovin običajno povzroča spremembe na površini zemlje. Vplivi rudarjenja pri podzemnem pridobivanju mineralne surovine z vplivom na površino se kažejo v obliki posedanja terena, nastajanja razpok in usadov površine. Pri rudarjenju se vplivi rudarjenja na okolje pojavijo že na začetku rudarjenja pri pripravi rudniških zemljišč na rudarjenje. Že pred pričetkom rudarjenja je potrebno izdelati načrte sanacije in rekultivacije zemljišč in predvideti rabo zemljišč po končanem rudarjenju. V rudarstvu so znani različni pristopi in termini izvajanja sanacije degradiranih rudniških površin, kot so to na primer sprotne sanacija, končna sanacija in rekultivacija in kombinacija sprotne sanacije in delne rekultivacije. V Sloveniji se srečujemo tudi s primeri nelegalnega rudarjenja mineralnih surovin in predčasno opuščenih rudniških prostorov, za katerimi ostanejo nesanirana in nerekulvirana območja. Tako v Sloveniji kot drugod v Evropi je v zadnjem desetletju velik poudarek na saniranju in rekultivaciji degradiranih in nesaniranih rudniških površin, ki so prepoznane kot priložnosti za izvedbo sanacije okolja in uporabo za druge bolj kakovostne nove rabe zemljišč. Na različnih lokacijah načrtujejo različne pristope remediacije degradiranih rudniških območij in različne novo rabe zemljišč. Rezultati črpanja namenskih sredstev za razvojno raziskovalne projekte remediacije in rekultivacije degradiranih rudniških površin, kažejo izboljšanje stanja na področju sanacije kot tudi novih rab saniranih degradiranih rudniških površin.

Abstract

The extraction of mineral resources usually leads to changes on the earth's surface. The effects of the underground extraction of mineral resources on the surface can be seen in the form of subsidence, cracking and deposits on the surface. The effects of mining on the environment are already evident at the beginning of the extraction process during site preparation. Even before mining begins, plans for the remediation and recultivation of the site must be drawn up and the use of the site after mining is completed must be planned. Various approaches and terms are known for the implementation of rehabilitation of degraded mining areas, such as ongoing rehabilitation, final rehabilitation and reclamation, and a combination of ongoing rehabilitation and partial reclamation. In Slovenia, too, there are cases of illegal extraction of mineral resources and prematurely abandoned mining areas that leave behind unrehabilitated and unrecultivated areas. In Slovenia and elsewhere in Europe, great emphasis has been placed in the last decade on the rehabilitation and reclamation of degraded and unrehabilitated mining areas, which have been recognized as an opportunity for environmental rehabilitation and use for other, higher-value new land uses. Different approaches for the rehabilitation of degraded mining areas and various new land uses are planned at different locations. The results of the use of special funds for development and research projects for the rehabilitation and recultivation of degraded mining areas show an improvement in the situation in the field of rehabilitation as well as new uses of remediated degraded mining areas.

Ključne besede: sanacija, remediacija, rekultivacija, degradirane rudniške površine, REECOL, Premogovnik Velenje

Keywords: remediation, rehabilitation, reclamation, degraded mining areas, REECOL, Premogovnik Velenje

1 Uvod

Rudarjenje mineralnih surovin večinoma povzroča spremembe na površini zemlje. Pri rudarjenju na površini, kamor štejemo tudi v Sloveniji precej pogosto pridobivanje peska, prod in kamenih agregatov, se vplivi rudarjenja na okolje pojavijo že na začetku rudarjenja, ko se pri pripravi rudniških zemljišč na rudarjenje iz zemljišč odstrani vegetacija, humusna zemlja in nekoristna zemljina – odkrivka. V literaturi, vladnih poročilih, političnih dokumentih, zakonodaji in na spletu lahko naletite na številne različne opredelitve pojmov *obnova*, *sanacija*, *rekultivacija* in *melioracija*. Te opredelitve so lahko bolj ali manj nejasne in/ali se prekrivajo. V nadaljevanju predstavljamo nekatere od njih. Obnova, sanacija, rekultivacija, melioracija (angl. restoration, rehabilitation, remediation, reclamation) se pogosto na kratko poimenujejo kot R4. "Obnova" se nanaša na razmere, v katerih se pokrajina in ekosistemi vrnejo v prvotno obliko in sestavo, medtem ko se "sanacija", "rekultivacija" in „melioracija" nanašajo na ukrepe, ki ublažijo težave, vendar lahko ustvarijo pokrajino in ekosisteme, ki se razlikujejo od prvotnih razmer. *Sanacija*: vrnitev zemljišča v obliko in produktivnost, ki sta v skladu s predhodnim načrtom rabe zemljišča, vključno s stabilnim ekološkim stanjem. *Obnova in sanacija*: Obnova poskuša vrniti vegetacijo v prvotno stanje, medtem ko je po sanaciji vegetacija trajno spremenjena, vendar s sanacijo poskušamo vzpostaviti avtohtono rastlinsko združbo, ki je čim bolj podobna prvotni. Pri sanaciji torej dobimo izboljšan, vendar ne obnovljen avtohtoni habitat, pri obnovi pa lokalno avtohtone ekosisteme. *Sanacija*: lahko pomeni tudi odstranitev, zmanjšanje ali nevtralizacija snovi, odpadkov ali nevarnega materiala z območja, da se preprečijo ali zmanjšajo škodljivi vplivi na okolje zdaj ali v prihodnosti. *Rekultivacija*: postopek, s katerim se močno degradirano zemljišče (npr. nekdanja rudniška območja ali puščave) usposobi za obdelovanje ali vzpostavi stanje, primerno za drugo (novo) rabo. Pri podzemnem pridobivanjem mineralne surovine z vplivom na površino se vplivi na površino kažejo tudi v obliki posedanja terena, nastajanja razpok in usadov površine. Minimizaranje vplivov rudarjenja na okolje se, še pred podelitvijo rudarske pravice, opredeli z načrti sanacije in rekultivacije že v fazi sprejemanja občinskih prostorskih aktov. Načrti sanacije in rekultivacije rudniških površin mora običajno, v največji možni meri, zajemati potek sanacije in rekultivacije vzporedno z izkoriščanjem mineralne surovine kakor tudi upoštevati možnosti nadaljnje rabe saniranih zemljišč ter tako zagotoviti kakovostno remediacijo in rekultivacijo oziroma ponovno rabo saniranih degradiranih rudniških območij. Generalno gledano poznamo tri glavne pristope k sanaciji degradiranih rudniških površin in sicer so to sprotna sanacija, končna sanacija in kombinacija sprotne in končne sanacije, kjer končna sanacija običajno že pomeni remediacijo in rekultivacijo zemljišč. Ohranjanje, skladiščenje, dobava, kakor tudi pridelava, zadostne količine kakovostne rodovitne prsti za izvedbo tehnične in biološke sanacije predstavlja izziv za doseganje uspešne rekultivacije degradiranih rudniških površin.

2 Monitoring vplivov rudarjenja, sanacija, vzdrževanje in rekultivacija zemljišč v pridobivalnem prostoru Premogovnika Velenje

Izkopavanje premoga v Premogovniku Velenje (v nadaljevanju PV) poteka že od leta 1875. Proizvodnja premoga danes poteka na povprečno dveh odkopih hkrati, kjer v zadnjih letih nakopljejo približno 2,2 milijona ton lignita letno (Premogovnik Velenje. 2024). Lignitni sloj se razprostira po celotni Šaleški dolini v globini do 500 metrov. Debelina lignitnega sloja se giblje od 20 m do 160 m. Podzemno pridobivanje premoga po Velenjski odkopni metodi (VOM) je glavni razlog pogrezanja terena v pridobivalnem prostoru Premogovnika Velenje, ki se razteza med mestoma Velenje in Šoštanj in obsega površino 1104 hektarjev (Slika 1) (Pal, 2022).



Slika 12: Pridobivalni prostor Premogovnika Velenje (znotraj rumenega poligona, črne linije so podzemni objekti premogovnika)

Vir: arhiv PV, 2024

Posedanje terena se na površini pojavi kmalu po začetku izkopavanja na posameznem odkopu. Po končanem izkopavanju z enim odkopom je posedanje terena zaključeno v približno treh mesecih v obsegu 90 %. Kot rezultat podzemnega pridobivanja lignita v Šaleški dolini so nastala tri jezera, ko je, zaradi rudarjenja nastajajoče, depresije zapolnila voda lokalnih vodotokov. Škalsko jezero je nastalo pred drugo svetovno vojno, Velenjsko jezero leta 1960, Družmirsko jezero pa leta 1975. Jezera so nastala na različnih nadmorskih višinah, saj teren Šaleške doline pada v smeri od vzhoda proti zahodu (na sliki 1 iz desne proti levi). Kot posledica izkopavanja premoga v različnih delih premogovnika (časovno si začetki izkopavanj sledijo: jama Škale, jama Pesje, jama Preloge in tlorisno na sliki 1 iz desne proti levi) so med jezери nastale naravne bariere. Da se je preprečilo prelivanje višje ležečega jezera v nižje ležečega, so bariere, ki so se tudi posedale, začeli vzdrževati na stalnih kotah terena. Območje med Velenjskim in Družmirskim jezerom imenujemo področje sanacije ugreznin, ali krajše kar PSU. Površine območja med Škalskim in Velenjskim jezerom niso več pod vplivom izkopavanja premoga in so umirjene. Eksploatacija premoga poteka večinoma pod Družmirskim jezerom, pod območjem PSU in pod širšim delom severne obale Družmirskega jezera, kjer se vpliv izkopavanja kaže kot posedanje terena in nastajanje razpok. Za preprečitev prelivanja Družmirskega jezera ob višjih vodostajih je bil, na južni obali jezera, zgrajen Šoštanski nasip. Območje nasipa je umirjeno že od leta 1975. Odkopavanje debelega sloja lignita v Premogovniku Velenje se na površini odraža v obliki ugrezanja terena. Obseg vplivnega območja odkopavanja je

odvisen od velikosti, oblike in števila odkopnih polj, globine in metode odkopavanja ter števila, lege in oblike varnostnih stebrov. Največje ugrezanje terena se pojavlja neposredno nad odkopi. Zaradi večjega števila odkopnih etaž, ki ležijo ena pod drugo, in medsebojnih vplivov odkopavanja v posameznih jamah je površina večkrat in dolgotrajno podvržena ugrezanju. Vplivi na površino se kažejo v obliki ugrezkov (posedanje terena in nastajanje vertikalnih razpok) in horizontalnih premikov terena v obliki odpiranja razpok (slika 2) (Potočnik idr., 2013).



Slika 13: Posledice rudarjenja v PV se kažejo v obliki posedanja površine in nastajanja razpok
Vir: arhiv PV, 2010

Skladno z rudarsko zakonodajo in podeljeno koncesijo za izkoriščanje mineralne surovine je PV dolžan zagotavljati varnost znotraj pridobivalnega prostora, izvajati predpripravo zemljišč in izvajati sprotno sanacijo degradiranega območja pridobivalnega prostora PV. V ravninskih predelih voda zalije nastale ugreznine, tako da so te površine trajno izključene v smislu kmetijske rabe. Zemljišče se poseda postopno in kot takšno terja nenehno kontrolo in spremljanje stanja tako zemljišča samega, kot tudi objektov na njem. Dobro poznavanje učinkov izkopavanja premoga na površino je bistvenega pomena pri planiranju in optimiziranju sanacije degradiranih površin in vzpostavitev v prvotno stanje. Za potrebe stalnega spremljanja nastajajočih sprememb površine so vzpostavljene opazovalne mreže, ki zagotavljajo pokritost opazovanja terena pridobivalnega prostora in njegove bližine. Opazovanja potekajo z meritvami na več kot dvesto opazovalnih točkah in z metodami daljinskega zajemanja celotno območje pridobivalnega prostora PV. V okviru opazovanj sprememb površine pridobivalnega prostora se spremljajo spremembe vseh treh jezer v Šaleški dolini in opazuje se področje aktivne sanacije ugreznin področja PSU. Tehnično opazovanje območij jezer, območij med jezeri in področja vplivov odkopavanja se, v okviru monitoringa pridobivalnega prostora Premogovnika Velenje, izvaja že več kot štiri desetletja. Monitoring vplivov rudarjenja na okolico in okolje danes obsega geodetski monitoring, v okviru katerega se opazuje premike terena, objektov in dna jezer nad odkopanimi deli premogovnika. Monitoring obsega tudi spremljanje hidrogeološkega stanja terena in zemeljskih plasti nad premogovnikom in ekološki monitoring širšega območja rudnika, v okviru katerega se opazuje vpliv rudarjenja na vodo, zrak, tla, vegetacijo, živali in ljudi (Špegel, 2005). Tehnični in ekološki monitoring vplivov rudarjenja omogoča kakovostno ugotavljanje sprememb v pridobivalnem prostoru PV in vplivov rudarjenja na okolico in okolje, kar nam zagotavlja nadzor nad stanjem obstoječih objektov in zemljišč in omogoča osnovo za kakovostno načrtovanje in učinkovito izvajanje sanacije, vzdrževanja in rekultivacije degradiranih površin.

Planiranje in priprava sanacije ter rekultivacije površin vplivnega območja rudarjenja na območju pridobivalnega prostora PV zajema več aktivnosti. Usmerjanje težišča aktivnosti se vrši na osnovi prognoz degradacij površin, ki se verificirajo z ažurnimi meritvami posedkov terena. Aktivnosti pred začetkom odkopavanja premoga zajemajo postopke zbiranja ter obdelave podatkov in dejstev o prostoru, lastnikih in uporabnikih nepremičnin, kjer je predvideno odkopavanje, predvsem pa podatkov o velikosti, vrednosti in funkciji ogroženih nepremičnin, številu lastnikov ter njihovi poklicni orientaciji. Aktivnosti med odkopavanjem premoga zajemajo ukrepe v zvezi z zagotavljanjem varnosti ljudi in živali, funkcioniranjem komunalne infrastrukture ter vzdrževanjem in racionalno rabo zemljišč. Ukrepi za zagotavljanje varnosti zajemajo stalen monitoring stanja v obliki dnevnih obhodov, po potrebi fizično zaporo ogroženih področij, vzpostavljen pa je tudi sistem opozarjanja na možne nevarnosti. Začasna in sprotna sanacija in rekultivacija pridobivalnega prostora se izvaja na območjih, kjer je odkopavanje zaključeno ali začasno prekinjeno (zaradi odkopavanja v drugih delih jam PV). Načrtovanje aktivnosti sanacije, rekultivacije in vzdrževanja površin v pridobivalnem prostoru PV spada pod področje dela rudarskih škod. Izraz *rudarske škode* zajema določanje intenzivnosti in obseg vplivov rudarskih del na zemeljsko površino, zlasti na neposredno okolico (Pravilnik o rudarskem merjenju, merski dokumentaciji in rudarskih kartah, 2003). Služba Rudarskih škod je na PV zadolžena za pripravo terena pred nastankom vpliva rudarjenja kot tudi za sanacijo, rekultivacijo in vzdrževanje degradiranih in saniranih ter rekultiviranih površin, poleg tega pa tudi porušitve objektov, izvajanje nadzora in sodelovanje pri pripravi, sprejemu in izvajanju aktivnosti v zvezi z opredeljevanjem možne rabe prostora, sprejemom prostorskih aktov, izvajanjem zaključnih sanacijskih del ter vzdrževanjem območja, na katerem je odkopavanje končano. Sanacija, vzdrževanje in rekultivacija zemljišč v pridobivalnem prostoru PV zajema tudi izvajanje več različnih vrst del, med katera spadajo tudi odstranitev in vzdrževanje vegetacije vključno z odstranitvijo invazivnih tujerodnih rastlin, odziv in deponiranje humusne zemlje (rodovitne prsti), izravnava terena, planiranje terena degradiranih zemljišč, sanacija zemljišč razpok (slika 3), nakladanje, prevoz in planiranje izkopane zemlje, strojni izkopi jarkov, izdelava in vzdrževanje drenaž, ureditev in vzdrževanje dostopnih poti in vodotokov, vgrajevanje materiala v razpoke in ugreznine, začasna sanacija in začasna rekultivacija površin, sanacije in vzdrževanje cest in poti, likvidacije komunalnih vodov, odstranitev objektov in infrastrukture, biološka sanacija in remediacija ter rekultivacija saniranih rudniških površin. Za izvajanje sanacije, rekultivacije in vzdrževanje rudniških površin PV letno nameni med 1,5 do 2 milijona evrov, pri tem pa v zadnjih letih pa izvede začasno, sprotno in končno sanacijo na med 40 in 50 hektarjev degradiranih površin letno.



Slika 14: Območje sanacije vertikalne razpoke obsežnega dela posednega terena

Vir: arhiv PV, 2011

Namen začasnih rekultivacijskih del je, da je z njimi omogočeno varno izvajanje kmetijskih in drugih dejavnosti znotraj ugrezninskega območja. Na slikah 4 do 6 je prikazan primer degradiranega terena pred, med in po začasni rekultivaciji.



Slika 15: Degradirana površina pred začasno rekultivacijo površin

Vir: arhiv PV, 2014



Slika 16: Degradirana površina med izvajanjem sanacije in rekultivacije

Vir: arhiv PV, 2014



Slika 17: Degradirana površina po izvedeni (začasni) rekultivaciji
Vir: arhiv PV, 2014

V sklopučasne sanacije se vzdržujejo tudi dostopne poti v ugrezninskem območju, odstranjujejo plasti rodovitne zemlje (slika 7 in slika 8).



Slika 18: Sanacija in vzdrževanje dostopnih poti
Vir: arhiv PV, 2024



Slika 19: Odstranitev rodovitne prsti preden se teren posede
Vir: arhiv PV, 2018

Komunalna infrastruktura se vzdržuje do mere, ko je to z vidika stroškov še racionalno, sicer pa se le-ta, v kolikor napaja območja izven pridobivalnega prostora, nadomešča. Za zemljišča pod vplivom rudarjenja se zagotovijo ukrepi, ki preprečujejo njihovo zaraščanje s pleveli, divje odlaganje odpadkov, predvsem pa opredelijo kulture, ki jih je v posameznih obdobjih na njih mogoče pridelati. V vmesnih fazah se z upoštevanjem dinamike odkopavanja premoga na posameznih etažah izvedejo začasni sanacijski ukrepi razpok terena z različnimi sanacijskimi ukrepi. Ko intenzivnost posevkov terena prepreči možnost, da bi se površine ohranile v dosednji funkciji, je pred zalitjem z vodo nujno potrebno odstraniti sloj plodne zemlje. Ta se deponira in uporabi v sklopu sanacijskih del na umirjenih področjih. Ko je odkopavanje premoga na posameznih področjih zaključeno, se pristopi k izvedbi aktivnosti za dokončno sanacijo posledic rudarjenja.

PV je v času ekološke sanacije Šaleške doline na koncu osemdesetih in na začetku devetdesetih let prejšnjega stoletja pričel z izvajanjem razvojnih programov za bolj učinkovito rekultivacijo degradiranih površin. V letu 2023 pa je PV skupaj z evropskimi partnerji pričel z razvojno raziskovalnimi aktivnostmi na področju ekološke rekultivacije in dolgotrajnega monitoringa degradiranih rudarskih površin Premogovnik Velenje. (b. d.). Skupaj z enajstimi partnerji iz petih evropskih držav smo se lotili evropskega projekta REECOL in že na začetku smo si postavili jasen cilj: razviti inovativne tehnologije in rešitve, ki izboljšujejo in povečujejo ekološko vrednost degradiranih rudarskih površin po zaključenem rudarjenju (slika 9). Projekt obravnava izzive premogovniških regij v tranziciji oz. regij, ki so ali nameravajo opustiti izkoriščanje premoga. Rezultati projekta bodo služili kot celovita pomoč za sanacijo zemljišč po rudarjenju. Raziskovalne in razvojne dejavnosti bodo dopolnjene z dejavnostmi obveščanja in razširjanja. Te so namenjene krepitvi ozaveščenosti, znanja in stališč med ciljnimi skupinami, kar naj bi v prihodnosti privedlo do sprejetja rezultatov projekta ter njihovega sprejetja, uporabe in izvajanja. Projekt, ki ga sofinancira Evropska unija, bo zagotovil novo in inovativno raziskavo z neposrednim in pozitivnim vplivom na premogovne regije v tranziciji ter podprl možnosti trajnostne ekološke sanacije in družbeno-ekološko sprejemljivostjo (REECOL, b. d.).



Slika 20: Projekt obravnava izzive premogovniških regij v tranziciji oz. regij, ki so ali nameravajo opustiti izkoriščanje premoga

Vir: <https://reecol.komag.eu/>, b. d.

Obdelava možnosti končne sanacije obsega krajinsko študijo danosti reliefa, ki je v prostoru nastal po rudarjenju in po izvedenih sprotih sanacijskih delih. Odločitev o načinu namembnosti prostora se sprejme na osnovi detajlnejših študij, običajno posebnih strokovnih podlag, s katerimi se ob reliefnih in geoloških možnostih obdelajo tudi potrebe širše družbene skupnosti, ki izhajajo iz njenih prostorskih planov. V primeru, da predlagana rešitev ni skladna z interesi v prostoru, se postopek vrne v fazo analiziranja možnosti končne sanacije prostora. Ko so interesi glede končne namembnosti prostora opredeljeni, se kot formalna podlaga vsem nadaljnjim ravnanjem v prostoru izdelajo izvedbeni prostorski akti in s tem se tudi zaključijo postopki dokončne sanacije degradiranega območja zaradi rudarjenja. Zaradi velikega vpliva izkopavanja premoga v PV na površino so le-te primerne za gradnjo šele več desetletij po zaključenem rudarjenju. Ker je le malo rekultiviranih rudniških površin v pridobivalnem prostoru PV dovolj umirjenih za gradnjo, je nova raba saniranih rudniških površin večinoma primerna za kmetijsko in rekreacijske dejavnosti. Po zaključeni sanaciji in izvedeni rekultivaciji vzhodnega in jugovzhodnega dela rudniškega območja PV so tako zemljišča dobila nove namene uporabe, kot na primer za rekreacijske površine (vodne površine tudi za športni ribolov) in uporabo zemljišč za kmetijsko dejavnost (slike 10 do 12).



Slika 21: Nova raba površin po izvedeni rekultivaciji degradiranega širšega območja Škalskega jezera je namenjena rekreacijskim površinam in kmetijstvu

Vir: <https://kupujlokalno.si/>, b. d.



Slika 22: Nova raba površin po izvedeni rekultivaciji degradiranega širšega območja vzhodne obale Velenjskega jezera je namenjena rekreacijskim površinam

Vir: <https://www.visitsaleska.si/sl/vista/>, b. d.



Slika 23: Nova raba površin po izvedeni rekultivaciji degradiranega širšega območja vzhodne obale
 Vir: <https://www.visitsaleska.si/sl/vista/>, b.d.

3. Zaključki

V rudarstvu so znani različni pristopi in termini izvajanja sanacije degradiranih rudniških površin, kar je odvisno predvsem od načina rudarjenja in možnosti izvedbe glede na stanje zemljišč, ki jih je potrebno sanirati. Vsak rudnik je še pred pričetkom delovanja dolžan izdelati presojo vplivov na okolico in izdelati načrt za minimiziranje teh vplivov in načrt sanacije vplivov rudarjenja. Širom Evrope je, po opustitvi pridobivanja in predelave mineralnih surovin, ostalo še veliko degradiranih površin potrebnih sanacije, ki niso bile sanirane iz razloga neizvajanja sprotne sanacije v času delovanja rudnikov ali pa zaradi pomanjkanja sredstev in tudi pomanjkanja družbene odgovornosti in odgovornosti do okolja. V Sloveniji se tudi pogosto srečamo z nesaniranimi rudniškimi površinami, ki so nesanirane zaradi nedovoljenega izkoriščanja mineralnih surovin, predčasnega opuščanja rudarjenja ali pa predpisane sanacije niso ustrezno izvedli. PV že vse od pričetka ekološke sanacije Šaleške doline uspešno izvaja sprotno sanacijo in rekultivacijo degradiranih rudniških površin skladno z določili podeljene koncesije za izkoriščanje lignita. V Evropski Uniji je v zadnjem času velik poudarek na saniranju in rekultivaciji degradiranih in nesaniranih rudniških površin, ki so prepoznane kot priložnosti za izvedbo sanacije okolja in uporabo za druge bolj kakovostne nove rabe zemljišč. Rezultati dela na razvojno raziskovalnih projektih remediacije in rekultivacije degradiranih rudniških površin, kažejo izboljšanje stanja na področju sanacije kot tudi novih rab saniranih degradiranih nekdanjih in obstoječih rudniških površin. PV skupaj z evropskimi partnerji izvaja razvojno raziskovalnimi aktivnostmi na področju ekološke rekultivacije in dolgotrajnega monitoringa degradiranih rudarskih površin, ki bo še izboljšal učinke, že sedaj zelo učinkovito izvajanje sanacije in rekultivacije degradiranih zemljišč v pridobivalnem prostoru PV. Dokaz, da PV učinkovito, okolici primerno in vsečno ureja degradirane površine vzhodnega dela pridobivalnega prostora PV, kjer je sanacija in rekultivacija rudniških površin zaključena. Na tem območju je znana Velenjska plaža, ki jo vsako poletje obišče več kot 100.000 obiskovalcev. Tako za obiskovalce Šaleške doline kot tudi za domačine so priljubljene tudi sprehajalne poti ob Škalskem in Velenjskem jezeru in park družabnih, kulturnih in priložnostnih doživetij VISTA ob Velenjskem jezeru, ki so vsi zgrajeni na saniranih degradiranih rudniških površinah.

4. Viri in literatura

kupujlokalno.si, (b. d.), Škalsko jezero, https://kupujlokalno.si/public/h/naravne_znamenitosti/savinjska/sk_jezero/sk_jezero_02.jpg

PAL, Andrej, 2022, *Hibridni model za napoved dinamičnega posedanja površine nad podzemnim odkopom* : doktorska disertacija [na spletu]. Doktorska disertacija. Ljubljana : A. Pal. [Dostopano 9 november 2024]. Pridobljeno s: <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?lang=slv&id=141193>).

Potočnik, D., Rošar, J., Lamot, A. in Vulić, M. (2013). Technical observations of large objects – monitoring of large objects and lakes in exploitation area of velenje coal mine. V A. Širca, A. Sedej (ur.), *Dam engineering in Southeast and Middle Europe : recent experience and future outlooks* (str. 97–105). Ljubljana: SLOCOLD - Slovenski nacionalni komite za velike pregrade, 2013.

Pravilnik o rudarskem merjenju, merski dokumentaciji in rudarskih kartah. (2003). Uradni list RS, št. št. 83/03, 61/10 – ZRud-1 in 32/17. <https://pisrs.si/pregledPredpisa?id=PRAV5204>

Premogovnik Velenje. (b. d.) Razvojni projekti: REECOL, Ecological rehabilitation and long term monitoring of post mining areas. <https://www.rlv.si/o-nas/tehnicno-podrocje/rudarska-projektiva/razvojni-projekti/#1543487761801-4c85c9da-bae3>

Premogovnik Velenje. (2024). *Proizvodnja*. <https://www.rlv.si/o-nas/proizvodnja/>

Premogovnik Velenje. (2024). Arhivsko gradivo PV.

REECOL. (b. d.), Ecological rehabilitation and long term monitoring of post mining areas. <https://reecol.komag.eu/>

Špegel, B., Velikonja, S., Potočnik, D., Radovanovič, D., Ranzinger, M., Mayer, J., Skornšek, P. (2005), Izvajanje monitoringa o vplivih rudarskih del Premogovnika Velenje na okolje. Rudarski projekt. Premogovnik Velenje.

visitsaleska.si, (b. d.), VISTA Park z razgledom, zajem zaslona, <https://www.visitsaleska.si/sl/velenjska-plaza/>

visitsaleska.si, (b. d.), VELENJSKA PLAŽ, <https://www.visitsaleska.si/sl/velenjska-plaza/>

DEGRADACIJA TAL ZARADI OSTANKOV FITOFARMACEVTSKIH SREDSTEV

Anja Žužej Gobec

Šola za hortikulturo in vizualne umetnosti Celje

anja.gobec@hvu.si

Povzetek

Degradacija tal zaradi ostankov pesticidov, postaja resen okoljski problem v Sloveniji in Evropi. Prekomerna uporaba pesticidov v kmetijstvu vodi do kopičenja teh kemikalij v tleh, kar negativno vpliva na rodovitnost tal, biotsko raznovrstnost in mikrobovno aktivnost, ki je ključna za zdravo kmetijsko zemljišče. V Sloveniji je skoraj 40 % obdelovalnih zemljišč že degradiranih, pri čemer so tudi pesticidi eden od dejavnikov tega problema. Posledice vključujejo zmanjšanje rodovitnosti tal in onesnaženje podtalnice, ki je pomemben vir pitne vode.

V odgovor na te izzive je Slovenija uvedla Nacionalni akcijski program za trajnostno rabo FFS, katerega cilj je zmanjšanje uporabe pesticidov, povečanje nadzora nad njihovo rabo ter spodbujanje ekološkega kmetovanja in integriranega varstva rastlin. Ohranjanje kakovosti tal in zmanjšanje njihove degradacije sta ključna za trajnostni razvoj kmetijstva, varovanje naravnih virov in zagotavljanje stabilnosti ekosistemov. S tem se želi zagotoviti dolgoročno produktivnost kmetijstva in ohraniti okolje za prihodnje generacije.

Abstract

Soil degradation due to pesticide residues is becoming a serious environmental problem in Slovenia and Europe. The excessive use of pesticides in agriculture leads to an accumulation of these chemicals in the soil, which has a negative impact on soil fertility, biodiversity and microbial activity, which is crucial for healthy agricultural soils. In Slovenia, almost 40% of arable land is already degraded, with pesticides being one of the contributing factors. The consequences are a decline in soil fertility and the contamination of groundwater, which is an important source of drinking water.

In response to these challenges, Slovenia has introduced the National Action Program for the Sustainable Use of Pesticides, which aims to reduce the use of pesticides, improve control over their use and promote organic farming and integrated pest management. Maintaining soil quality and reducing degradation are key to the sustainable development of agriculture, protecting natural resources and ensuring the stability of ecosystems. The aim is to secure agricultural productivity in the long term and preserve the environment for future generations.

Ključne besede: degradacija tal, ostanki fitofarmacevtskih sredstev (FFS), Nacionalni akcijski program, trajnostna raba FFS

Keywords: soil degradation, pesticide residues (PPS), National Action Program, sustainable use of pesticides

1 Uvod

Degradacija tal zaradi ostankov fitofarmacevtskih sredstev (FFS), ostaja vedno pereč problem v kmetijstvu in okoljevarstvu po Evropi in v Sloveniji. Pesticidi, ki se množično uporabljajo za zaščito pridelkov pred škodljivci, boleznimi in pleveli, imajo pomembno vlogo v sodobnem kmetijstvu. Vendar njihova dolgotrajna uporaba prinaša tudi resne ekološke izzive. Ostanki pesticidov se namreč kopičijo v tleh, kar negativno vpliva na rodovitnost tal, biotsko raznovrstnost ter mikrobiološko aktivnost, ki je ključna za zdravo in rodovito kmetijsko zemljo.

Degradirana tla zaradi ostankov FFS postajajo vse večji izziv tudi v Sloveniji, kjer so na določenih območjih tla že prizadeta. Po podatkih iz leta 2022 je skoraj 40 % slovenskih obdelovalnih zemljišč degradiranih, pri čemer so dejavniki te degradacije različni in vključujejo tudi posledice prekomerne uporabe FFS. [1]

Kopičenje pesticidov v tleh lahko vodi do zatiranja koristnih mikroorganizmov in talnih organizmov, ki skrbijo za razgradnjo organskih snovi in kroženje hranil. Takšno stanje ogroža rodovitnost tal in zmanjšuje kakovost pridelane hrane, hkrati pa prispeva k onesnaženju podtalnice, ki je pomemben vir pitne vode.

V odgovor na te izzive je Slovenija uvedla Nacionalni akcijski program za doseganje trajnostne rabe fitofarmacevtskih sredstev. Ta program vključuje vrsto ukrepov, katerih namen je zmanjšanje tveganj, povezanih z uporabo FFS, in spodbujanje alternativnih, okolju prijaznejših metod varstva rastlin. Program poudarja zmanjšanje uporabe FFS, povečanje nadzora nad njihovo uporabo ter usmeritev k metodam, kot so integrirano varstvo rastlin in ekološko kmetovanje. Cilj teh ukrepov je zaščititi tla, varovati kakovost vode ter dolgoročno ohranjati biotsko raznovrstnost in stabilnost kmetijskih ekosistemov. [2]

Zaradi ključne vloge tal pri pridelavi hrane in vzdrževanju stabilnih ekosistemov je ohranjanje njihove kakovosti ena največjih prioritet sodobnega kmetijstva. V Sloveniji in drugod po Evropi se vse bolj zavedamo pomena varovanja okolja in trajnostnega upravljanja s kmetijskimi viri. Zmanjšanje uporabe pesticidov in izboljšanje talnih ekosistemov sta ključni poti za ohranjanje rodovitnosti in zmanjšanje negativnih vplivov na okolje, kar zagotavlja zdravo in trajnostno prihodnost za kmetijstvo in prihodnje generacije.

2 Vpliv FFS na tla

Fitofarmacevtska sredstva (v nadaljevanju: FFS) so pripravki, ki se v kmetijstvu uporabljajo za varstvo rastlin pred škodljivimi organizmi (v nadaljevanju: ŠO). [3]

Čeprav so FFS zasnovana tako, da se biorazgradijo ali razgradijo na nevtralne spojine, določene snovi lahko dolgo ostanejo v tleh, kar vpliva na ekosistem in kakovost tal. Dolgotrajna uporaba FFS, zlasti tistih, ki se ne razgrajujejo hitro, vodi do kopičenja ostankov v tleh, kar zmanjšuje njihovo rodovitnost in spreminja biotsko pestrost.

Ostanki pesticidov v tleh imajo več različnih vplivov, ki so lahko zelo škodljivi za ekosistem. Pesticidi neposredno vplivajo na raznolikost talnih mikroorganizmov in živali. Zmanjšana biotska raznovrstnost vpliva na kroženje hranil, povzroča izgubo naravne strukture tal, kar povečuje erozijo in zmanjšuje sposobnost tal za zadrževanje vode in hranil in s tem na dolgoročno rodovitnost tal. Nekateri pesticidi, zlasti tisti, ki so obstojni in se težko razgradijo, se kopičijo v prehranjevalni verigi. Sčasoma lahko dosežejo visoke koncentracije v organizmih, kar predstavlja tveganje za zdravje ljudi in živali. Pesticidi lahko dolgo ostanejo v tleh in jih dež ali erozija prenese v podtalnico,

reke ali jezera. Tako onesnažijo vodne vire in negativno vplivajo na vodne ekosisteme, kar pomeni posredno tveganje za zdravje ljudi. Zaradi zmanjšanja biotske raznovrstnosti in degradacije organske snovi se zmanjša rodovitnost tal, kar lahko vodi do manjše pridelave in večje potrebe po kemičnih gnojilih.

V Sloveniji kmetijstvo zavzema pomemben delež površin, kar pomeni, da se tudi pesticidi uporabljajo na številnih zemljiščih. Tako pesticide uvrščamo med okoljsko najbolj problematične snovne vnose, saj so njihovi za okolje in človeka škodljivi ostanki lahko v zraku, tleh in rastlinah že dolgo prisotni.

Kljub prizadevanjem za zmanjšanje uporabe pesticidov, zlasti v okviru nacionalnega akcijskega načrta za trajnostno rabo pesticidov, ostanki pesticidov še vedno predstavljajo izziv za kakovost tal. Na primer, raziskave, ki jih je izvedel Nacionalni inštitut za biologijo, so pokazale, da se predvsem herbicidi in insekticidi, kopičijo v tleh, kar negativno vpliva na mikroorganizme in ekosistem tal.

Da bi zmanjšali prehajanje fitofarmaceutskih sredstev (FFS) v podtalnico, je pomembno, da tla vsebujejo **visoko vsebnost organskih snovi**. Organska snov v tleh, kot je humus, veže FFS in preprečuje, da bi se hitro izprali v podtalnico. Pomembna je **dobra struktura tal**. Tla z dobro strukturo omogočajo zmerno infiltracijo vode in preprečujejo prekomerno spiranje FFS v globlje sloje. Tla, ki imajo večji delež gline ali ilovice, so manj prepustna in upočasnijo gibanje vode ter FFS, kar zmanjša verjetnost onesnaženja podtalnice. Tla z nevtralnimi pH vrednostjo pogosto boljše vežejo nekatere FFS kot bolj kislila ali bazična tla, kar lahko zmanjša premik v podtalnico. Pomembna je tudi dobra drenaža, ki preprečuje zadrževanje vode na površini, lahko zmanjša izpiranje FFS, vendar je pomembno, da ne vodi v hitro izpiranje v globlje sloje. Navsezadnje pa je za zmanjšanje prehajanja FFS v podtalnico pomemben tudi vegetacijski pokrov, saj rastline absorbirajo vodo, kar zmanjšuje izpiranje FFS v podtalnico. [4]

Če povzamemo, tla z višjo vsebnostjo organske snovi, dobro strukturo, manjšo prepustnostjo, nevtralnimi pH, primerno drenažo in rastlinskim pokrovom lahko učinkovito zmanjšajo možnost kontaminacije podtalnice s FFS.

V širšem evropskem kontekstu so kmetijske države, kot so Španija, Francija in Italija, že dalj časa izpostavljene izzivom, povezanim z onesnaženjem tal zaradi pesticidov. V Italiji so bile odkrite visoke koncentracije pesticidov v določenih vinogradih in oljčnikih, kjer so tla močno obremenjena s fitofarmaceutskimi sredstvi. Podobno so v Španiji opazili kopičenje pesticidov v tleh, kar vpliva na zmanjšanje rodovitnosti in posledično na pridelovalne površine. V Franciji, kjer se tudi uporablja veliko pesticidov, so oblasti uvedle strožja pravila in zahteve po spremljanju ostankov pesticidov v tleh, da bi omejile negativne vplive na okolje.

2.1 Zakonodaja in politike v Sloveniji in EU

Evropska unija ima vzpostavljen zelo strog zakonodajni okvir za nadzor uporabe fitofarmaceutskih sredstev. Glavni cilji zakonodaje so zagotoviti, da pesticidi ne predstavljajo tveganja za zdravje ljudi in okolje ter zmanjšati njihove ostanke v tleh in vodah.

Direktiva o trajnostni rabi pesticidov (Direktiva 2009/128/ES) zahteva, da države članice razvijejo nacionalne akcijske načrte, ki vključujejo ukrepe za zmanjšanje uporabe pesticidov in spodbujanje alternativ, kot so integrirano varstvo rastlin. Slovenija je na podlagi te direktive pripravila nacionalni akcijski načrt, ki vključuje cilje za zmanjšanje tveganj, povezanih z uporabo FFS, ter spodbujanje uporabe bioloških sredstev in naravi prijaznih praks v kmetijstvu. [5]

2.2 Trajnostne rešitve za zmanjšanje vpliva FFS na tla

Zmanjšanje vpliva FFS na tla zahteva uvajanje trajnostnih praks in rešitve, ki vključujejo ekološko kmetovanje, ki izključuje uporabo sintetičnih pesticidov, se zanaša na naravne metode za obvladovanje škodljivcev, kot so kolobarjenje, uporaba koristnih organizmov in bioloških sredstev. Z usposabljanjem kmetov o trajnostnih praksah, ki zmanjšujejo potrebo po pesticidih, lahko dosežemo dolgoročne spremembe. Programi osveščanja so ključnega pomena za seznanitev kmetov z vplivi pesticidov na tla ter z alternativnimi metodami varstva rastlin. Trajnostna rešitev je tudi integrirano varstvo rastlin, ki vključuje kombinacijo bioloških, mehanskih in kemičnih ukrepov za obvladovanje škodljivih organizmov in zmanjšanje uporabe pesticidov. Uporaba integriranega varstva rastlin je še posebej pomembna pri trajnostnem kmetovanju. Prav tako so raziskave in razvoj novih, okolju prijaznih FFS, ki so manj škodljivi za tla in se hitro razgradijo, ključnega pomena za zmanjšanje vpliva na okolje. Pomemben ukrep je tudi spremljanje in uraden nadzor nad uporabo FFS. [2]

3. Zaključek

Fitofarmacevtska sredstva imajo pomembno vlogo v sodobnem kmetijstvu, saj prispevajo k višji produktivnosti in zaščiti pridelkov pred škodljivimi organizmi. Vendar pa prekomerna in nepremišljena uporaba pesticidov vodi do resnih okoljskih posledic, vključno z zmanjšanjem rodovitnosti tal, izgubo biotske raznovrstnosti ter onesnaženjem vodnih virov, predvsem podtalnice.

Da bi zmanjšali negativne vplive FFS, je ključnega pomena uvesti trajnostne rešitve, kot so ekološko kmetovanje, integrirano varstvo rastlin, izobraževanje kmetov in razvoj okolju prijaznih pesticidov. S tem lahko dosežemo ravnovesje med produktivnostjo kmetijstva in varovanjem okolja ter ohranimo kakovost tal za prihodnje generacije. Trajnostni pristop k uporabi pesticidov je edina pot k ohranitvi zdravih in rodovitnih tal ter kmetijskih ekosistemov, kar bo dolgoročno prispevalo k varni in trajnostni prehranski verigi.

4. Viri in literatura

- [1] Skoraj 40 % slovenskih obdelovalnih zemljišč je degradiranih, Pridobljeno 7.11.2024, iz (<https://www.ekodezela.si/eko-okolje/skoraj-40-slovenskih-obdelovalnih-zemljisc-je-degradiranih/>)
- [2] Nacionalni akcijski program za doseganje trajnostne rabe fitofarmacevtskih sredstev, Pridobljeno 6.11.2024, iz (<https://www.gov.si teme/nacionalni-akcijski-program-za-doseganje-trajnostne-rabe-fitofarmacevtskih-sredstev/>)
- [3] Fitofarmacevtska sredstva v Sloveniji, Pridobljeno 7.11.2024, iz (https://lj.kgzs.si/Portals/1/A-Splet2021/Brosura_FFS_2021.pdf)
- [4] Uporaba fitofarmacevtskih sredstev in varovanje voda na vodovarstvenih območjih, Pridobljeno 6.11.2024, iz (<https://www.kgzs-ms.si/wp-content/uploads/2017/09/Uporaba-FFS-na-VVO.pdf>)
- [5] Direktiva 2009/128/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 21. oktobra 2009, Pridobljeno 7.11.2024, iz (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0128>)

PRIDELAVA ZELENJADNIC IN TEŽKE KOVINE

Igor Škerbot
KGZS Zavod CE
igor.skerbot@ce.kgzs.si

Povzetek

Težke kovine kot onesnaževalec zelenjave so velik potencial za vnos v prehransko verigo. Če se pojavijo v tleh in v živilih je potrebna prilagoditev in ukrepanje za preprečitev vnosa v prehrano ljudi in živali. Zato smo tudi v Sloveniji v skladu z nacionalno in evropsko zakonodajo v zadnjem desetletju intenzivno pozornost namenili težkim kovinam v tleh in v živilih. Država izvaja monitoring živil po letnem programu. V prispevku je prikazana problematika pojava težkih kovin v tleh in v pridelkih zelenjave. Prikazani so podatki državnega monitoringa v zelenjavi in pristop v svetovanju pridelovalcem zelenjave, ki imajo težavo zaradi dokazanih previsokih vsebnosti predvsem kadmija v pridelkih zelenjave.

Abstract

Heavy metals as pollutants of vegetables have great potential for introduction into the food chain. If they appear in the soil and in food, adaptation and action are necessary to prevent their introduction into human and animal nutrition. Therefore, in Slovenia, in accordance with national and European legislation, intensive attention has been paid to heavy metals in soil and food over the last decade. The state carries out food monitoring according to an annual program. The article presents the problem of the occurrence of heavy metals in soil and vegetable crops. The data from state monitoring in vegetables and the approach to advising vegetable growers who have a problem due to proven excessively high levels of cadmium in vegetable crops are presented.

Ključne besede: težke kovine, kadmij, zelenjava

Keywords: heavy metals, cadmium, vegetables

1 Uvod

Da bi se preprečil nepotreben vnos kadmija v tla in posledično preprečeval vnos težkih kovin s pridelki zelenjave v prehranjevalno verigo je tudi v Sloveniji tej problematiki v zadnjih letih posvečena večja pozornost tako strokovnjakov kot potrošnikov.

S pomočjo državnega monitoringa, ki ga izvaja UVHVVR in tam pridobljenih podatkov ter tudi iz podatkov analize iz nekaterih vzorcev iz VVO območij, je 2023 po poplavih bilo izvedeno znotraj ostalih vzorčenj tudi vzorčenje na poplavljenih območjih. Večja skrb zadnjih 7 let je težkim kovinam namenjena tudi pri svetovanjih prizadetim pridelovalcem zelenjave pri Javni kmetijski svetovalni službi, ko se zelenjadarjem svetuje o potrebnih ukrepih za preprečitev težav s težkimi kovinami v tleh in v živilih. Problematika težkih kovin v pridelavi zelenjave je v glavnem vezana

na previsoke vsebnosti kadmija, le redko svinca. Ob pojavu vzorca s preseženimi vrednostmi se pridelovalci zelenjave obračajo po nasvete in priporočila tudi na kmetijske svetovalce. Da se vsi v zadnjih letih vse skozi srečujemo in spoznavamo z novimi dognanji in spoznanji o problematiki težkih kovin ni novost, a velikokrat preseneti rezultat analize na vsebnost težkih kovin. Takrat so sodobna znanja potrebna.

V nadaljevanju povzemam osnovne informacije v ta namen in prispevek zaključim s pristopi, ki jih kmetijski svetovalci uporabljamo pri svetovanju pridelovalcem s težavami zaradi težkih kovin, bodisi najprej v tleh ali v odvzetih pridelkih zelenjave.

2 Vsebnost težkih kovin v tleh

Težke kovine so v Sloveniji kot nevarne snovi opredeljene v Uredbi o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh (Uradni list RS, št 68/96). Uredba opredeljuje stopnjo onesnaženosti tal s tremi stopnjami onesnaženosti in sicer:

- Mejna imisijska vrednost, pomeni gostoto posamezne nevarne snovi v tleh, ki pomeni takšno obremenitev tal, da se zagotavljajo življenjske razmere za rastline in živali pri katerih se ne poslabšuje kakovost podzemne vode ter rodovitnost tal. Pri tej vrednosti so učinki ali vplivi na zdravje človeka ali okolje še sprejemljivi.
- Opozorilna imisijska vrednost je gostota posamezne nevarne snovi v tleh, ki pomeni pri določenih vrstah rabe tal verjetnost škodljivih učinkov ali vplivov na zdravje človeka ali okolje.
- Kritična imisijska vrednost je gostota posamezne nevarne snovi v tleh, pri kateri zaradi škodljivih učinkov ali vplivov na človeka in okolje onesnažena tla niso primerna za pridelavo rastlin, namenjenih prehrani ljudi ali živali ter za zadrževanje ali filtriranje vode.

Preglednica 1: Mejne, opozorilne in kritične imisijske vrednosti nevarnih snovi (težke kovine) v tleh (v mg/kg suhih tal)

Nevarna snov (kovine ekstrahirane z zlatotopko)	Mejna vrednost	Opozorilna vrednost	Kritična vrednost
kadmij in njegove spojine, izražena kot Cd	1	2	12
baker in njegove spojine, izražene kot Cu	60	100	300
nikelj in njegove spojine, izražen kot Ni	50	70	210
svinec in njegove spojine, izražen kot Pb	85	100	530
cink in njegove spojine, izražen kot Zn	200	300	720
celotni Cr	100	150	380

Vir: Uradni list RS, št 68/96

3 Vsebnost težkih kovin v živilih

Preglednica 2: Zgornje mejne vrednosti (ZMV) za svinec in kadmij v živilih (zelenjavi) (mg/kg)

Težka kovina	Vrsta živila	Zgornje mejne vrednosti
Svinec	zelenjava, razen kapusnic, listnate zelenjave in gojenih gob. Pri krompirju velja ZMV za olupljeni krompir	0,1
	kapusnice, listnata zelenjava in gojene gobe	0,3
Kadmij	zelenjava in sadje, razen listnate zelenjave, svežih zelišč, gojenih gob, stebelne zelenjave, korenovk	0,05

Težka kovina	Vrsta živila	Zgornje mejne vrednosti
	in krompirja	
	listnata zelenjava, sveža zelišča, gomoljna zelena in gojene gobe	0,2

Pravilnik o onesnaževalcih v živilih (Ur. L.RS 69/2003) ureja onesnaževalce (kontaminante) v živilih in določa zgornje mejne vrednosti (ZMV) posameznih onesnaževalcev v užitem delu živil, zaradi zaščite javnega zdravja in zdravja posameznika. Iz pravilnika v Preglednici 2 navajam zgornje mejne vrednosti v skupinah zelenjadnic za kadmij in svinec. Še posebej so izpostavljene skuine za katere so poznana dejstva, da spadajo vrste zelenjadnic znotraj skupin med vrste s povečanim potencialom za sprejem težkih kovin.

Težke kovine kot onesnaževalec v smislu tega pravilnika je katerikoli kemijski agens, ki je nenamensko prisoten v živilu kot posledica postopkov pridelave kmetijskih pridelkov in surovin živalskega izvora, oziroma proizvodnje in prometa živil, ali kot posledica onesnaženja okolja.

Živila, ki vsebujejo višje vrednosti onesnaževalcev kot je predvideno za težke kovine in zelenjavo (Preglednica 2), ne smejo v promet oziroma se umaknejo iz prometa. Živila, pri katerih so presežene ZMV onesnaževalcev iz priloge, je prepovedano uporabljati kot surovine za proizvodnjo drugih živil.

V letu 2023 je Uredba Komisije (EU) 2023/915(2) določila nove mejne vrednosti kadmija v različnih živilih. V obrazložitvi uredbe (2023/915) Evropska agencija za varnost hrane (v nadaljnjem besedilu: Agencija) je 30. januarja 2009 sprejela znanstveno mnenje o kadmiju v živilih, kjer so ugotovili, da je kadmij predvsem strupen za ledvice, zlasti za celice proksimalnega tubula, kjer se sčasoma kopiči in lahko povzroči ledvično disfunkcijo. Zaradi strupenih učinkov kadmija na ledvice je Agencija določila dopustni tedenski vnos kadmija v višini 2,5 µg/kg telesne teže. Agencija je nadalje ugotovila, da je povprečna izpostavljenost odraslih po vsej Uniji blizu dopustnega tedenskega vnosa ali ga nekoliko presega. Poleg tega je ugotovila, da je lahko dopustni tedenski vnos pri podskupinah, kot so vegetarijanci, otroci, kadilci in ljudje, ki živijo na zelo onesnaženih območjih, za približno dvakrat presežen. Agencija je zato sklenila, da je treba zmanjšati trenutno izpostavljenost kadmiju na ravni prebivalstva. Na podlagi navedenega znanstvenega mnenja je Agencija 17. januarja 2012 izdala znanstveno poročilo, v katerem je potrdila, da bi lahko izpostavljenost otrok in odraslih pri 95. percentilu preseгла orientacijske vrednosti na podlagi zdravstvenih razlogov. Uredba podaja nove mejne vrednosti za kadmij in svinec v živilih, tudi za zelenjavo

Preglednica 3: posodobljene zgornje mejne vrednosti za svinec in kadmij po Uredbi ES 2023/915 (2)

Težka kovina	Vrsta živila	Zgornje mejne vrednosti
Svinec	zelenjava, razen kapusnic, listnate zelenjave in gojenih gob. Pri krompirju velja ZMV za olupljeni krompir	0,1
	kapusnice, listnata zelenjava in gojene gobe	0,3
Kadmij	Korenovke in gomoljnice	0,1
	Rdeča pesa	0,06
	Gomoljna zelena	0,15
	Hren, pastinak, črni koren	0,2
	Redkev	0,02

Preglednica 4: Mejna vrednost kadmija in svinca v nekaterih skupinah in vrstah zelenjave (Uredba (EU) 2023/915)

Skupina ali vrsta zelenjave	Mejna vrednost za kadmij (Cd)	Mejna vrednost za svinec (Pb)
Čebulnice	0,03	0,1
česen	0,05	*
por	0,04	*
Kapusnice	0,04	0,1
listnate kapusnice	0,1	0,3
redkev	0,02	*
hren	0,2	*
Korenovke	0,1	0,1
rdeča pesa	0,06	*
gomoljna zelena	0,15	*
stebelna zelena	0,03	0,1
belušna zelena	0,1	*
črni koren	*	0,3
listna zelenjava, zelišča	0,1	0,3
špinača	0,2	*
Plodovke	0,04	0,1
jajčevec	0,03	*
sladka koruza	*	0,1
Stročnice	0,04	0,2

*Mejna vrednost posebej za vrsto zelenjave ni določena, velja vrednost za skupino v katero porabi pripada

Uredba ES 2023/915 postavlja za zagotovitev učinkovitega varovanja javnega zdravja, za živila, ki vsebujejo onesnaževala in so v njih presežene mejne vrednosti, da se jih ne sme dajati na trg kot taka niti se ne smejo uporabljati kot sestavina živil ali mešati z živilo.

4 O vsebnostih kadmija v zelenjavi

Kadmij je element katerega naravno ozadje v tleh je zelo majhno, manj kot 0,5 mg/kg tal. Vendar je dobro topen in dobro dostopen rastlinam, zato občasno pride do prekomernih vsebnosti kadmija tudi v kmetijskih rastlinah. Njegova mobilnost in dostopnost rastlinam je večja v kislih tleh. Različne rastline ga različno sprejemajo, prav tako je različna tudi razporeditev v rastlinskih organih; rastline ga veliko akumulirajo v koreninah oziroma korenih vrtnin, na primer korenju. Radič in endivija (rod *Cichorium*) sta vrtnini, ki zelo dobro privzemata kadmij iz tal in ga akumulirata v zelenih delih. Kadmij je rastlinam nepotreben element (ni mikrohranilo), hkrati pa je uvrščen na seznam kancerogenih snovi. (Pančur in Zupan, 2021, str. 3)

Kadmij v rastline prehaja pasivno preko korenin, lahko pa je absorbiran preko rastlinskega metabolizma. Različne koreninske aktivnosti vplivajo na rizosfero in s tem tudi na privzem Cd. Koncentracije kadmija v rastlini so lahko različne med leti in med rastišči. Vsebnost Cd v rastlinah je lahko tudi posledica odlaganja atmosferskega Cd, kar opisujejo raziskave iz Poljske pri katerih so imele gobe veliko večjo vsebnost Cd v klobuku kot v betu. Istočasno navajata, da je porazdelitev kadmija v rastlinskih organih različna, na splošno pa se največ Cd zadrži v koreninah, sledijo listi, manj se akumulira v steblih, najmanj pa v plodih oziroma semenih. (Pančur in Zupan, 2021, str. 7)

Kadmij (Cd) je naravno prisoten v različnih spojinah v zemeljski skorji, skupaj s cinkom in svincem v sulfidnih rudah. Večino ga pridobijo med pridobivanjem cinka. Uporablja se predvsem za zaščito

proti koroziji jekla. Kadmijev sulfid in selenid se običajno uporabljata kot pigmenta v plastiki. Kadmijeve spojine se uporabljajo v električnih baterijah, elektronskih komponentah in jedrskih reaktorjih. Glavni vir širše onesnaženosti okolja s kadmijem so gnojila, pridobljena iz fosfatnih rud. V okolje pride tudi preko odpadnih vod, zgorevanja fosilnih goriv ali odpadkov. Pronica lahko v podzemno vodo. (NIJZ, 2022)

Rastline so različno dovzetne za sprejem težkih kovin, razlikujejo se rastlinske vrste in celo sorte znotraj rastlinskih vrst, zato lahko v grobem posamezne skupine rastlin razvrstimo glede na visok, zmeren ali nizek sprejem težkih kovin (preglednica 2). Na vsebnost težkih kovin lahko vpliva tudi starost rastline, močno pa se razlikujejo po vsebnosti tudi posamezni rastlinski organi, zato je pomembno, kateri del rastline uživamo. Največ težkih kovin sprejmejo korenine, naslednji so listi in nazadnje plodovi. Zato so z vidika prehranjevanja najbolj problematične rastline, kjer uživamo liste, korene ali gomolje. (Majer in sod., 2015, str. 6)

Vrtnine delimo v skupine, glede na sprejem in akumulacijo težkih kovin v užitne dele. Zelo dober sprejem imajo vrtnine v 1. skupini, kamor spadajo solata, radič, endivija, špinača, korenje, kreša, blitva, regrat, artičoka in druge. V 2. skupino spadajo vrtnine s srednjim sprejemom. To so čebulnice, ohrovt, koren repe in pese, redkvice, ogrščica, krompir in druge. Majhen sprejem imajo zelje, brstični ohrovt, cvetača, brokoli, zelena, sladka koruza in jagodičje v 3. skupini. V 4. skupino z zelo majhnim sprejemom spadajo stročnice (fižol, grah,...), kumare, paradižnik, paprika in sadje. (Pančur in Zupan, 2021, str.9)

Pančur in Zupan, 2021 v svojem prispevku predstavljata vsebnost kadmija v vrtninah pridelanih na njivi z vsebnostjo kadmija, ki je manjša od naravnega ozadja. Kljub temu je vsebnost kadmija v nekaterih vrtninah (radič, korenje) presegla mejno vrednost za živila (0,10 mg/kg sv.m. za korenovke in 0,20 mg/kg sv.m. za listnato zelenjavo) (po takratni Uredbi (EU) 488, 2014). Iz tega razloga je kmetijska inšpekcija prepovedala prodajo radiča in korenja na tržnici, čeprav vsebnost Cd v teh tleh ni bila povečana ($< 0,5$ mg/kg). Avtorja navajata, da je razlog za povečane koncentracije v veliki biodostopnosti kadmija v kislih tleh (pH=4,8) in gojenje rastlin, ki dobro akumulirajo kadmij v užitne dele. Apnjenje je agrotehnični ukrep, kjer z dodajanjem različnih oblik apnenca oziroma apna vplivamo na kislost tal. Na kmetijskem gospodarstvu so v preteklosti že uporabili sredstva za apnjenje tal, na njivi kjer je bila prekomerna vsebnost Cd v radiču in korenju, so mleti apnenec zadnjič uporabili marca 2019. Zanimalo jih je, kako se bo vsebnost kadmija razlikovala v vrtninah gojenih na/v tleh, kjer so dodali apnenec (apnjeno), v primerjavi z njivsko površino, kjer sredstvo za apnjenje ni bilo uporabljeno (kontrola), saj manjši del njive niso tretirali. Želeli so ugotoviti, katera vrtnina je najbolj varna za pridelavo na kislih tleh, kjer smo izvajali poskus in koliko se poveča nabor vrtnin, ki jih lahko gojimo brez tveganja prekomernega privzema Cd iz neonesnaženih tal po uporabi sredstva za apnjenje. Z nasveti in ugotovitvami so želeli pomagati lastniku, ki jim je odstopil zemljišče za izvedbo meritev in tudi drugim pridelovalcem vrtnin na kislih neonesnaženih tleh, da bodo brez tveganja o prekomerni vsebnosti Cd pridelali kakovostne in zdrave vrtnine. (Pančur in Zupan 2021, str.)

V istem delu avtorja Pančur in Zupan (2021) ugotavljata, da je vsebnost kadmija pri različnih vrtninah v enakem obravnavanju različna, saj je za nekatere rastline Cd mnogo bolj dostopen kot za druge, poleg tega pa imajo določene vrste vrtnin večjo sposobnost absorpcije težkih kovin v užitne dele kot druge. V to skupino spada predvsem listnata zelenjava (radič, tudi nekatere vrste solate) in korenovke. Različne dele iste vrtnine so analizirali samo pri peteršilju, kjer je bila povprečna vsebnost Cd večja v korenu kot v listih. Vsebnost Cd v korenu peteršilja je na eni od poljin celo presegala normativ. Na dveh poljinah (kontrolni in apnjeni) je bil normativ presežen pri radiču; enkrat pa v korenu korenja in listih pora na apnjeni poljini. Menijo, da dodatek mletega apnenca (Kalcevita) takoj po aplikaciji še ni imela pravega učinka na dostopnost Cd v tleh. Zato so svetovali,

da bi bilo koristno spremljati meritve biodostopnosti Cd v tleh in vsebnosti Cd v izbranih (kritičnih) vrtninah na omenjeni njivi tudi v naslednjih letih. Po izvedenih meritvah so kmetom, ki imajo težave s prekomerno vsebnostjo potencialno toksičnih težkih kovin v vrtninah predlagali, da za gojenje izberejo vrtnine, ki imajo manjši privzem kadmija ali drugih težkih kovin v užitelne dele. V kislih tleh predlagajo uporabo sredstev za apnjenje tal, ki zmanjšujejo dostopnost Cd in imajo še druge pozitivne učinke na lastnosti tal.

5 Stanje v pridelavi zelenjave – monitoring v Sloveniji

Ravno zahteva tako ta uredba zahteva od držav članic, da morajo zbirati in sporočati podatke o uradnem nadzoru in spremljanju onesnaževal v skladu z načrti nadzora in posebnimi zahtevami glede uradnega nadzora onesnaževal. V ta namen v Sloveniji poleg po uredbi zahtevanih onesnaževal spremlja Uprava za varno hrano veterinarstvo in varstvo rastlin (UVHVVR) v monitoringu živil tudi težke kovine od nastanka UVHVVR v 2013. Tudi pred tem so institucije, ki so se združile v UVHVVR izvajale monitoring živil. Pred sedaj veljavno Ur. (ES) 2023/915, je veljala Uredba (EU) št. 1881/2006, ki je sedaj tako nadomeščena.

Po rezultatih monitoringa živil za obdobje 2018 do 2023, ki smo jih pridobili iz UVHVVR, 2024 je moč sklepati, da se vsako leto v vzorcih zelenjave najdejo vsebnosti potencialno toksičnih težkih kovin. Monitoring je pokazal da se v obdobju 2018 – 2023 med vzorčeno zelenjavo največkrat pojavijo presežene vrednosti za kadmij.

Preglednica 5: Podatki o vzorcih zelenjave iz programa spremljanja onesnaževal v živilih v letih 2018 do 2023 (UVHVVR, 2024)

	2018		2019		2020		2021		2022		2023	
	Št.	%	Št.	%	Št.	%	Št.	%	Št.	%	Št.	%
skupno št vzorcev zelenjave	176	100	121	100	175	100	166	100	133	100	121	100
skladnih z Uredbo	173	98,3	117	96,7	171	97,7	160	96,4	130	97,7	116	95,9
neskladnih z Uredbo	3	1,7	4	3,3	4	2,3	6	3,8	3	2,3	4	3,3
varni vzorci	173	98,3	117	96,7	173	98,9	165	99,4	131*	98,5	118*	97,5
niso varni vzorci	3	1,7	4	3,3	2	1,1	1	0,6	1	0,75	3	2,5

*za en vzorec ocena varnosti ni bila možna

Kot je razvidno iz preglednice 5 so v monitoring zelenjadnic v letih 2018 in 2020 vključili največ vzorcev (173), najmanj vzorcev je bilo v 2019 (117). Skladnost z Uredbo (EU) št. 1881/2006, ki je sedaj že nadomeščena z Ur. (ES) 2023/915, se je gibala v vseh letih od 95,9 % v 2023 do 98,3 %. Od tega je bilo opredeljenih vzorcev, ki niso bili varni za na trg od 0,75% v 2022 do največ 3,3% v 2019.

Neskladnih z uredbo je bilo 24 vzorcev od tega jih je bilo opredeljenih, da niso varni 14. Med neskladnimi je bilo korenje, radič, krompir, čebula, česen in por. Med štirinajstimi (14) vzorci, ki v tem obdobju niso bili varni za na trg in so jih pridelovalci morali izločiti iz prodaje se je to

zahtevalo zaradi kadmija in le enkrat zaradi svinca. Največkrat je bilo izločeno korenje (12 vzorcev), 1 vzorec blitve in en vzorec radiča.

V obdobju od 2018 do 2020 so v programa spremljanja onesnaževal v živilih na UVHVVR vključili spodaj navedene vrste zelenjave. V oklepaju je prikazano število vzorcev navedene zelenjave.

V letu 2018 vzorčili: česen (10), čebula (21), krompir (54), korenje (30), radič (18), špinača (2), solata (38). V letu 2018 so naveden vzorce zelenjave analizirali na vsebnost (svinec, kadmij, nikelj in arzen). V vseh ostalih letih so v vzorcih analizirali le svinec in kadmij, le v 2023 nikelj v krompirju.

V letu 2019 vzorčili: korenje, krompir, radič, špinača

V letu 2020 vzorčili: čebula (4), korenje (30), krompir (50), solata (31), blitva (10), glavno zelje (10), šparglji (10), rukola (3), špinača (1), redkev in redkvice (6), repa (10), rdeča pesa (1).

V letu 2021 vzorčili: čebula (10), česen (5), mlada čebula (5), rdeča pesa (10), ohrovt (10), brokoli (10), stročji fižol (8), krompir (35), korenje (31), bučke (8), radič (16), špinača in blitva (9), motovilec (9)

V letu 2022 vzorčili: krompir (31), korenje (30), solata (20), stročnice (9 x fižol v strokih, 1 x fižol v zrnju), korenovke in gomoljnice (10 od tega 4x hren, 2x pastinak, 1x peteršilj, 2x gomoljna zelena, 1x koleraba), por (10), jajčevci (10), glavno zelje (9), sladki krompir (1), čebula (1), česen (1).

V letu 2023 vzorčili: krompir (27), korenje (26), radič (10), rukola (7), špinača (10), čebula (11), česen (1), repa (5), ohrovt (9 od tega 1x listnati, 8x glavni), gomoljnice (5 od tega 1x koleraba, 1x. gomoljna zelena), koren peteršilja (3x).

6 Ukrepi JSKS v primeru ostankov težkih kovin v pridelku zelenjave

Agrotehnične ukrepe je potrebno izvajati v skladu z načeli dobre kmetijske prakse, kar pomeni, da kmetujemo na način, ki varuje naravno okolje, rodovitnost tal ter zagotavlja kakovostne pridelke. Glede na to, da je vsebnost težkih kovin ključen omejitveni dejavnik za gojenje kmetijskih rastlin na onesnaženih območjih npr. Zgornje Mežiške doline, se ob svetovanju s strankami, ki imajo dokazane vsebnosti težkih kovin v teh ali pridelkih pogovorimo in svetujemo spodaj navedene ukrepe, s katerimi se lahko zmanjša vnos težkih kovin ob prehodu v prehranjevalno verigo. Ti ukrepi so primerni na območjih, kjer niso presežene kritične vrednosti težkih kovin v tleh. Na tleh, kjer je presežena kritična vrednost, pridelujemo le rastline za energetske in okrasne namene. Pred izvedbo kateregakoli ukrepa je priporočljivo opraviti pedološko in kemično analizo tal, da ugotovimo, kakšna je struktura tal ter koliko težkih kovin in katere vsebujejo. (Majer in sodelavci, 2015, str.3 -4)

Preglednica 6: Ukrepi s katerimi lahko zmanjšamo vsebnost težkih kovin na kmetijskih površinah ter vnos le-teh v ljudi in živali

UKREP	IZVEDBA
Izbor kmetijskih rastlin	- Rastline izberemo glede na intenziteto sprejema in akumulacije težkih kovin v rastlinskih delih, ki jih neposredno uživajo ljudje in živali. Na prekomerno onesnaženih območjih izbiramo rastline z nizkim sprejemom težkih kovin. - Z namenom fitoremediacije onesnaženih tal je priporočljiva setev oljne ogrščice, ki ima sposobnost hiperakumulacije.
Izbor tal	- Za kmetijsko pridelavo izbiramo težja tla z vsebnostjo gline 25% in več. Na lahkih peščenih tleh sprejmejo rastline več težkih kovin. - Za kmetijsko pridelavo izberemo tla z rahlo kislo (pH 5,6 - 6,7), nevtrarno (pH 6,8 - 7,2) ali alkalno reakcijo (pH nad 7,2). V tleh s kislo reakcijo rastline bolj sprejemajo težke kovine. - Izberemo tla z visokim deležem humusa (4% ali več). V tleh z manj humusa rastline sprejemajo več težkih kovin.
Obdelava tal	- Priporoča se minimalna ali ohranitvena obdelava tal, kjer namesto klasičnega oranja njivo pripravimo le s plitvim podrahljavanjem in izvedemo direktno setev. - Priporoča se večkratno zračenje, plitvo okopavanje tal. - Prekrivanje tal z organskimi zastirkami, da preprečimo zbijanje tal po močnem dežju. - Skrb za stalno ozelenitev kmetijskih površin.
Spreminjanje lastnosti tal	- Apnenje: z dodatkom apna popravimo reakcijo (pH) kislih tal do alkalne reakcije (pH nad 7). V alkalnih tleh ostajata tako svinec (Pb) kot tudi kadmij (Cd) vezana na talnih delcih, poleg tega kalcij zavira sprejem cinka v rastline. - Dodajanje organske snovi (gnojenje z organskimi gnojili, setev podorin in zaoravanje rastlinskih ostankov - tudi slame): z ukrepom dosežemo večjo vsebnost humusa v tleh in manjši sprejem Pb in Cd preko rastlin. - Dodajanje absorbentov (npr. gline). - Gnojenje s fosfatnimi gnojili - dodajanje netopnih soli (fosfatov).
Spremljanje vsebnosti težkih kovin v tleh in rastlinah	- Priporočena občasna kemična analiza tal na težke kovine. - Priporočena občasna kemična analiza rastlinskega materiala (pridelka) na težke kovine. - Gnojenje na osnovi gnojilnega načrta. - Priporočena uporaba gnojil, ki so dovoljena v ekološki pridelavi. - Varstvo pred boleznimi in škodljivci na osnovi prognoze. - Priporočena uporaba fitofarmacevtskih pripravkov, ki so dovoljeni v ekološki pridelavi.
Odstranjevanje težkih kovin iz tal s pomočjo rastlin (fitoremediacija)	- Setev <i>izključevalskih</i> rastlin: preprečujejo privzem kovin v korenine in transport v poganjke. V okolici Žerjava rastejo izključevalske rastline, kot npr. trava pisana vilovina, vrba iva. - Setev <i>hiperakumulacijskih</i> rastlin: imajo mehanizme za kopičenje kovin v rastlinskih delih. V okolici Žerjava raste hiperakumulacijska rastlinska vrsta rani mošnjak.

	- Stalna ozelenitev tal: vzpostavitev zelenega pokrova iz ustreznih rastlin je eden izmed najboljših načinov preprečevanja migracije težkih kovin v tleh. Pri tem tla stabiliziramo s pomočjo rastlin izključevalk in s tem onemogočimo prenos težkih kovin v prehranjevalno verigo.
--	--

7 Izbor zelenjadnic za pridelavo za priporočila pridelovalcem zelenjave

Vrtnine delimo v skupine (preglednica 7), glede na sprejem in akumulacijo težkih kovin v užitne dele. Zelo dober sprejem imajo vrtnine v 1. skupini, kamor spadajo solata, radič, endivija, špinača, korenje, kreša, blitva, regrat, artičoka in druge. V 2. skupino spadajo vrtnine s srednjim sprejemom. To so čebulnice, ohrovt, koren repe in pese, redkvica, ogrščica, krompir in druge.

Majhen sprejem imajo zelje, brstični ohrovt, cvetača, brokoli, zelena, sladka koruza in jagodičje v 3. skupini.

V 4. skupino z zelo majhnim sprejemom spadajo stročnice (fižol, grah,...), kumare, paradižnik, paprika in sadje (Pančur in Zupan, 2021, str. 11).

Preglednica 7: Seznam vrtnin glede na sprejem (biodostopnost) kovin iz tal (Pančur in Zupan, 2021)

Dober sprejem – 1	Srednji sprejem – 2	Majhen sprejem – 3	Zelo majhen sprejem – 4
špinača	pesa – koren	zelje	fižol
endivija/radič	repa – koren	brstični ohrovt	grah
korenje	redkvica	cvetača	kumare
pesa – zeleni del	ogrščica	brokoli	paradižnik
kreša	krompir	zelena	paprika
solata	čebula	sladka koruza	bučke
blitva	ohrovt	jagodičje	sadj

8 Viri in literatura

Kadmij v živilih. (2022). NIJZ. https://nijz.si/wp-content/uploads/2023/09/kadmij_v_zivilih_26.9.2022.pdf

Majer s sodelavci. (2015). Navodila za kmetovanje v degradiranem okolju - Zgornja mežiška dolina.

Pančur E., Zupan M. (2021). Vpliv apnjenja tal na vsebnost kadmija v užitnih delih izbranih vrtnin, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta.

Podatki o monitoring živil, UVHVVR, ustni vir, 2024.

Poročilo o rezultatih programa spremljanja onesnaževal v živilih v letu 2022, UVHVVR, <https://www.gov.si teme/onesnazevala-v-zivilih/>.

Uredba komisije (EU) 2023/915 <https://pisrs.si/pregledPredpisaEU?celex=32023R0915>.

TEŽKE KOVINE V ZELENJAVI: GROŽNJA ZA ZDRAVJE

Andreja Gerčer

Šola za hortikulturo in vizualne umetnosti Celje

andreja.gercer@hvu.si

Povzetek

Članek govori o vsebnosti težkih kovin v zelenjavi ter o možnostih zmanjševanja tveganja za onesnaženje z njimi. Predstavljene so težke kovine, njihove značilnost, njihov vpliv na žive organizme. Posebej so izpostavljeni škodljivi vplivi težkih kovin za človeka. Opisani so vnosi težkih kovin v zelenjavo ter skupine zelenjadnic, ki so najbolj dovzetne za absorpcijo težkih kovin. Podane so zelenjadnice, ki so razvrščene glede na različen sprejem težkih kovin. Članek izpostavlja vire težkih kovin v Sloveniji in izpostavlja ključna onesnažena območja: Zgornja Mežiška dolina, Celjska kotlina in Ljubljanska kotlina. Omenjena je zakonodaja s tega področja ter pristojni inštituciji, ki izvajata raziskave s tega področja: Nacionalni inštitut za javno zdravje (NIJZ) in Kmetijski inštitut Slovenije (KIS). Članek ponuja tudi predloge kako zmanjšati tveganje za onesnaženje s težkimi kovinami ter priporoča potrošnikom zelenjave kako naj ravnajo, da zmanjšajo tveganje. Članek zaključuje z ugotovitvijo, da v je v Sloveniji izvajan strog nadzor, a kljub temu je pomembno, da se tako kmetje kot tudi potrošniki zavedajo tveganj in sprejmejo ukrepe za zmanjšanje izpostavljenosti.

Abstract

The article deals with the content of heavy metals in vegetables and ways to reduce the risk of contamination with these metals. Heavy metals, their properties and their effects on living organisms are presented. The harmful effects of heavy metals on humans are particularly emphasized. The uptake of heavy metals in vegetables and the vegetable groups most susceptible to heavy metal uptake are described. Vegetables are classified according to their different uptake of heavy metals. The article highlights the sources of heavy metals in Slovenia and the main polluted areas: the Upper Mežiška Valley, the Celje Basin and the Ljubljana Basin. Legislation in this area is mentioned, as well as the relevant institutions conducting research in this area: The National Institute of Public Health (NIJZ) and the Agricultural Institute of Slovenia (KIS). The article also contains suggestions for reducing the risk of heavy metal contamination and recommends measures for vegetable consumers to reduce the risk. The article concludes that strict controls are carried out in Slovenia. Nevertheless, it is important that both farmers and consumers are aware of the risks and take measures to reduce exposure.

Ključne besede: težke kovine, zdravje, zelenjava, kadmij, svinec, cink

Keywords: heavy metals, health, vegetables, cadmium, lead, zinc

1 Uvod

1.1 Kaj so težke kovine

Težke kovine so kemični elementi z visoko gostoto. Mednje uvrščamo: svinec (Pb), kadmij (Cd), živo srebro (Hg), arzen (As), krom (Cr), cink (Zn) in mnoge druge. So sicer normalno prisotne v naravi, antropogeno pa se širijo zaradi človekovih dejavnosti, kot so industrija, promet in intenzivno kmetijstvo in so prisotne tudi v zraku, vodi in tleh v prekomernih količinah. Prisotne so prav tako v pitni vodi in v hrani, ki jo uživamo. V večjih koncentracijah so lahko škodljive za zdravje ljudi in za okolje. Sicer jih lahko razdelimo v dve skupini: esencialne težke kovine, ki jih živa bitja potrebujemo v majhnih količinah, npr. baker, cink, mangan in železo ter zdravju škodljive, že v majhnih količinah, kot na primer svinec, živo srebro, kadmij, arzen, ... Težke kovine niso omejene le na določeno geografsko območje, saj je znano, da se lahko po zraku prenašajo na zelo velike razdalje po celotni zemeljski obli. Ker težke kovine razpadajo relativno počasi, je njihov vnos v okolje trajen in nepovraten poseg. Tako ocenjujejo razpolovno dobo za različne težke kovine od več desetletij do več stoletij. Vrednosti so odvisne od specifičnih pogojev v tleh in lahko variirajo.

1.2 Vpliv težkih kovin na živa bitja

Lahko so toksične za rastline, živali in človeka. Na živa bitja vplivajo tako, da se v njihovih telesih nalagajo, kar poimenujemo bioakumulacija. Koncentracije le teh se višajo po prehranjevalni verigi navzgor proti višje razvitim organizmom, kamor spada tudi človek. Za človeka predstavljajo težke kovine v telesu posledice kot so okvare jeter, ledvic, okvare srčno žilnega sistema, ... Mnogokrat so težke kovine vzrok za: nevrološke, psihološke spremembe, utrujenost, nespečnost, razdražljivost, glavobol, bolečine v sklepih, povišan krvni pritisk, zmanjšano število semenčic. V primeru izpostavljenosti zelo visokim koncentracijam pa lahko pomenijo tudi smrt. Sam učinek težkih kovin je odvisen od njihovih fizikalno-kemijskih lastnosti, lastnosti tal in lastnosti človeka.

V tleh se težke kovine vključujejo v številne procese in prehajajo tudi v rastline in nadalje preko zaužitih rastlin dalje v prehranjevalno verigo. Najpogostejše težke kovine v tleh so kadmij, cink, svinec, krom, nikelj, živo srebro in baker. Prisotnost težkih kovin v zemlji zmanjša rodovitnost zemlje zaradi zmanjšane mikrobiološke aktivnosti v tleh. Težke kovine blokirajo encime in funkcionalne skupine biološko pomembnih molekul, poškodujejo biomembrane. Prihaja do zmanjšane sprejema mineralnih hranil, zmanjšane rasti, mnogokrat se pojavijo kloroze. Težke kovine motijo procese dihanja in fotosinteze pri rastlinah.

2 Težke kovine v zelenjavi

2.1 Vnos težkih kovin v zelenjavo

V zadnjih desetletjih je problematika težkih kovin postala vse bolj pereča zaradi naraščajoče industrializacije, prometa in uporabe fitofarmaceutskih sredstev v kmetijstvu. V Sloveniji, kjer je pridelava zelenjave pomemben del lokalne prehranske samooskrbe, je ključnega pomena raziskati stopnjo onesnaženosti z omenjenimi kovinami in njihov vpliv na prehransko varnost.

Zelenjava, ki raste v onesnaženi zemlji, lahko absorbira težke kovine, kar seveda predstavlja tveganje za zdravje ljudi. Težke kovine iz tal ali vode vstopajo v rastline preko korenin in se nato razširijo po celotni rastlini.

Na nivo akumulacije vpliva več dejavnikov: vrsta rastline, pH vrednost tal, vsebnost gline in humusa, prisotnosti organskih snovi in drugi dejavniki. V kislih zemljah so koncentracije prostih,

rastlinam dostopnih težkih kovin, večje kot v apnenčastih, bazičnih zemljah. Z apnenjem tal dvignemo pH vrednost in tako zmanjšamo dostopnost težkih kovin. Pri nevtralizaciji težkih kovin pomagajo tudi delci gline in humusa, daj se le te nanje vežejo in posledično niso dostopne rastlinam. Pomembno je tudi to, da so tla dobro založena s fosforjem.

Rastline akumulirajo večinoma težke kovine v koreninah, manj v steblih in listih, še najmanj pa v plodovih in semenih. Iz tega izhaja, da je največje tveganje pridelava korenovk in solatnic. Sicer so rastline so poleg kontaminiranih tal izpostavljene še podnebnim spremembam, vplivom onesnaženega zraka in padavin, ...

2.2 Rastline, ki so najbolj dovzetne za absorpcijo težkih kovin

Iz zgoraj zapisanega lahko povzamemo, da se težke kovine različno kopičijo v rastlinskih delih. Torej največ težkih kovin se kopiči v koreninah, korenih in listih, precej manj v plodovih ali semenih. Ugotovimo lahko, da je listnata zelenjava mnogo bolj obremenjena s težkimi kovinami kot npr. plodovke.

V spodnji preglednici so predstavljene zelenjadnice glede na različen sprejem težkih kovin.

Preglednica 1: Zelenjadnice glede na sprejem težkih kovin iz tal

zelo majhen sprejem	manjši sprejem	srednji sprejem	velik sprejem
paradižnik	zelje	čebula	solata
jajčevci	brstični ohrovt	česen	radič
paprika	kitajsko zelje	por	endivija
feferoni	brokoli,	drobnjak	motovilec
	cvetača	šalotka	kreša
grah	koleraba	ohrovt	blitva
fižol	kolerabica	peteršilj	špinača
leča	redkev	zelena	korenje
čičerika		redkvica	repa
kumare		pesa	artičoka
bučke		krompir	regrat
buče			
melone			
lubenice			

Vir: <https://www.kis.si/f/img/File/OKENV/PDF/Preglednica.VsebnostTKvTleh.ukrepi.pdf>

2.3 Viri težkih kovin v Sloveniji

V Sloveniji so viri onesnaženja s težkimi kovinami predvsem industrijska območja, promet, uporaba fitofarmacevtskih sredstev in gnojil v kmetijstvu ter odlagališča odpadkov. V regijah, kjer je prisotna težka industrija ali kjer so zgodovinsko prisotne rudarske dejavnosti, so tla bolj dovzetna za visoko koncentracijo težkih kovin.

Ključna onesnažena območja v Sloveniji:

- Zgornja Mežiška dolina: znana po rudarskih in industrijskih dejavnostih, zlasti v zvezi s svincem.

- Celjska kotlina: industrijsko območje, kjer so zabeležene visoke koncentracije kadmija, svinca in cinka.
- Ljubljanska kotlina: območje z gostim prometom in prisotnostjo industrije.

2.4 Vpliv na zdravje

Kot je že v uvodu zapisano, akumulacija težkih kovin v človeškem telesu lahko vodi do različnih zdravstvenih težav, saj imajo te snovi strupene učinke na živčni sistem, ledvice, jetra in srčno žilni sistem. Izpostavili bi naslednje težke kovine:

- **Svinec (Pb):** že v majhnih količinah deluje strupeno. Pomembni so kronični učinki svinca. Rizično skupino predstavljajo otroci. Pri manjših otrocih prevelike koncentracije svinca povzročajo: nevrološke motnje, vedenjske motnje, spremembe obnašanja, hiperaktivnost, težave s spominom, motnje v delovanju ledvic. Pri odraslih pa se pojavljajo nespecifični znaki: utrujenost, nespečnost, razdražljivost, glavobol, bolečine v sklepih, povišan krvni pritisk, motnje sluha.
- **Kadmij (Cd):** zaužijemo ga s hrano ali pijačo ali pa ga dobimo v telo z vdihavanjem onesnaženega zraka. Izpostavljeni so kadilci in delavci v elektro industriji. Povzroča kronična pljučna vnetja, obolenja ledvic ter poškodbe kardiovaskularnega sistema. Ima tudi povečano tveganje za raka.
- **Živo srebro (Hg):** vpliva na centralni živčni sistem in povzroča motnje v delovanju možganov. Akumulira se v nekaterih organih, najprej v jetrih in ledvicah, nato v možganih, kjer jih trajno poškoduje. Ker se iz telesa izloča počasi, povzroča številne mutacije, izgubljanje spomina, moten vid in celo smrt. Minamata bolezen.

2.5 Spremljanje in nadzor kakovosti zelenjave v Sloveniji

V Sloveniji so izvajani redni pregledi zelenjave na prisotnost težkih kovin, še posebej tiste, ki prihaja iz bolj industrijsko obremenjenih območij. Nacionalni inštitut za javno zdravje (NIJZ) in Kmetijski inštitut Slovenije (KIS) izvajata raziskave, s katerimi ocenjujeta tveganja in predlagata ukrepe za zmanjšanje izpostavljenosti prebivalstva. Pridelovalci zelenjave so vedno bolj ozaveščeni o pomembnosti spremljanja kakovosti tal in vode, kar pripomore k varnejši pridelavi.

Glede vsebnost težkih kovin v zelenjavi je v veljavi Uredba Komisije (ES) št. 1881/2006 (spremenjena z Uredbo Komisije (ES) št. 629/2008), ki določa mejne vrednosti za svinec in kadmij v korenovkah in listnati zelenjavi. Za svinec velja mejna vrednost 0,3 mg/kg za listnato zelenjavo in 0,1 mg/kg za drugo zelenjavo. Za kadmij pa velja mejna vrednost 0,2 mg/kg za listnato zelenjavo in 0,05 mg/kg za drugo zelenjavo.

Mejno vrednost težkih kovin v tleh, določa slovenska zakonodaja (Pravilnik o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh, Ur. l. RS, št. 68/96 in dopolnitve...). Vrednosti za kadmij (Cd): 0,3 mg/kg, svinec (Pb): 85 mg/kg in Cink (Zn): 200 mg/kg.

2.6 Kako zmanjšati tveganje za onesnaženje?

Za zmanjšanje tveganja za kontaminacijo težkih kovin v zelenjavi se pridelovalcem priporočajo naslednji ukrepi:

- Izogibanje sajenju zelenjave v bližini industrijskih in prometnih območij.
- Redno testiranje tal, da se preveri njihova kakovost in vsebnost težkih kovin.

- Uporaba organskih gnojil namesto mineralnih, ki bi lahko dodatno prispevala k onesnaženju tal.
- Pridelava zelenjave v dvignjenih gredah z neonesnaženo zemljo.
- Uporaba prečiščene vode za namakanje oziroma kontrola vode za zalivanje.
- Omejevanje uporabe zemljišč oziroma prepoved kmetovanja na najbolj onesnaženih območjih.
- Fitoremediacija: uporaba rastlin, ki učinkovito absorbirajo težke kovine iz tal in jih tako odstranijo iz okolja. Gre za uporabo čistilnih rastlin, kot so sončnice, gorčica ter mnoge druge, ki absorbirajo težke kovine iz zemlje.
- Ozaveščanje kmetovalcev: spodbujanje pridelave zelenjave v dvignjenih gredicah in uporabe nekontaminirane zemlje.
- Zamenjava zemlje v primeru manjših površin, kjer lahko zamenjamo zgornjo plast zemlje z nekontaminirano zemljo.
- Gojenje zelenjave v rastlinjaki oziroma drugih zaščitene prostori, kjer, zaradi kontrolirane pridelave zmanjšamo tveganje za onesnaženje.

Za uporabnike zelenjave oziroma potrošnike pa so dobrodošla naslednja priporočila za zmanjšanje tveganja glede težkih kovin:

- Izbira lokalno pridelane zelenjave, saj pridelovalci pogosto uporabljajo manj fitofarmacevtskih sredstev in gnojil.
- Pred uživanjem zelenjavo temeljito operemo pod tekočo vodo, da odstranimo ostanke zemlje in površinska onesnaževala.
- Lupljenje zelenjave – odstranjevanje lupine, posebej pri gomoljnicah in korenovkah zmanjša vsebnost težkih kovin.
- Uživanje raznolike zelenjave zmanjša tveganje za kopičenje težkih kovin iz istovrstne zelenjave.
- Uporabe ekološko pridelane zelenjave, zaradi ekoloških standardov, ki vsebujejo strožje omejitve.

3 Zaključek

Težke kovine v zelenjavi predstavljajo resno tveganje za zdravje ljudi, zlasti v območjih, kjer so tla zgodovinsko onesnažena zaradi industrijskih dejavnosti. V Sloveniji je izvajan strog nadzor, a kljub temu je pomembno, da se tako kmetje kot tudi potrošniki zavedajo tveganj in sprejmejo ukrepe za zmanjšanje izpostavljenosti. Z odgovornim ravnanjem in ozaveščanjem lahko zagotovimo, da bo zelenjava, ki jo uživamo, varna in zdrava.

4. Viri in literatura

Prehod v zeleno gospodarstvo. R. Atelšek (et.al.). urednica V. Čanji. Fotografije arhivi podjetij in institucij, www.shutterstock.com Celje:Fit media, 2018

Pravilnik o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh, Ur. l. RS, št. 68/96

Svinec v živilih. NIJZ. (17.10.2024). <https://nijz.si/moje-okolje/varnost-zivil/svinec-v-zivilih/>

Uredba Komisije (ES) št. 1881/2006 (spremenjena z Uredbo Komisije (ES) št. 629/2008)

Vsebnost kovin v tleh in sprejem kovin iz tal v vrtnine. Kmetijski inštitut Slovenije. (17.10.2024).
https://www.kis.si/f/img/File/OKENV/Celje_vrticki/Preglednica.VsebnostTKvTleh.ukrepi.pdf

VRAČANJE TAL PO POPLAVI NA NJIVE

Rafael Hrustel

Šola za hortikulturo in vizualne umetnosti Celje

rafael.hrustel@hvu.si

Povzetek

Prst je geografski izraz za tla. Tla so vrhnja plast oziroma preperel del zemeljske skorje, ki vsebuje razkrojene organske snovi. Danes dobiva pedologija ali tloslovje zaradi okoljske degradacije po onesnaženju vedno večji pomen. Rodovitna kmetijska tla pridobimo s krčenjem gozdov in savan. Vendar imamo ogromno tal degradiranih. Najpogostejši pojav je poseg človeka v okolje. Gradijo se avtoceste, industrijske cone, predstavitve vodotokov ipd. Slovenija je na repu evropskih držav po obsegu kmetijskih zemljišč na prebivalca. Najbolj omejena so kmetijska zemljišča v ravninah. Obdelovalne površine so se npr. v obdobju od leta 2000 do 2022 zmanjšale z 267.900 ha na 233.600 ha, torej za 34.242 ha. To pomeni, da smo v obdobju 2000-2022 v povprečju vsako leto izgubili 2.634 ha, vsak mesec 124 ha in vsak teden 29 ha obdelovalnih površin. Prostorske analize jasno kažejo, da smo izgubljali v glavnem zelo dobra kmetijska zemljišča, boljša od povprečja države in tako »pozidali« potencial za samooskrbo s hrano, kar je strateško nevarno. Vsaka pozidava je bila v danem trenutku argumentirana kot nujna za razvoj gospodarstva in blaginje v Republiki Sloveniji ali posamezni regiji. Kljub temu so danes rezultat slabega prostorskega planiranja številne prazne industrijske cone in za vedno izgubljena rodovitna tla. Degradacijo tal pa povzročajo tudi poplave in plazovi. Posredno je tega kriv človek, zaradi vplivanja na okolje. Avgusta 2023 je Slovenijo zajelo močno deževje, ki je povzročilo poplave. Reka Savinja je v svojem zgornjem toku dosegla višino 335 cm, prestopila bregova in s seboj odnesla vse, kar je bilo možno. Ko je voda odtekla, je ostala naplavina. Razredčili smo jo s čisto vodo in zvozili na njive. Nihče ni napravil analize, če smo ravnali pravilno. Zemljo smo vrnili na njivo.

Abstract

Soil is a geographical term for ground. Soil is the uppermost layer or weathered part of the earth's crust that contains decomposed organic matter. Nowadays, soil science is becoming increasingly important due to environmental degradation caused by pollution. Fertile agricultural soils are obtained by clearing forests and savannahs. However, we have many degraded soils. The most common phenomenon is human intervention in the environment. Highways, industrial areas, watercourses, etc. are being built. Slovenia is at the bottom of the list of European countries in terms of agricultural land per capita. The agricultural area in the plains is the smallest. In the period from 2000 to 2022, the cultivated area decreased from 267,900 ha to 233,600 ha, i.e. by 34,242 ha. This means that we lost an average of 2,634 ha per year, 124 ha per month and 29 ha of arable land per week in the period from 2000 to 2022. Spatial analyses clearly show that we have been losing mainly very good agricultural land, better than the national average, and thus "built up" the potential for self-sufficiency in food, which is strategically dangerous. Each building was argued at a given moment as necessary for the development of the economy and prosperity in the Republic of Slovenia or an individual region. Nevertheless, today, the result of poor spatial planning is numerous empty industrial zones and fertile soil lost forever. Soil degradation is also caused by floods and landslides. Humans are indirectly to blame for this, due to their impact on the

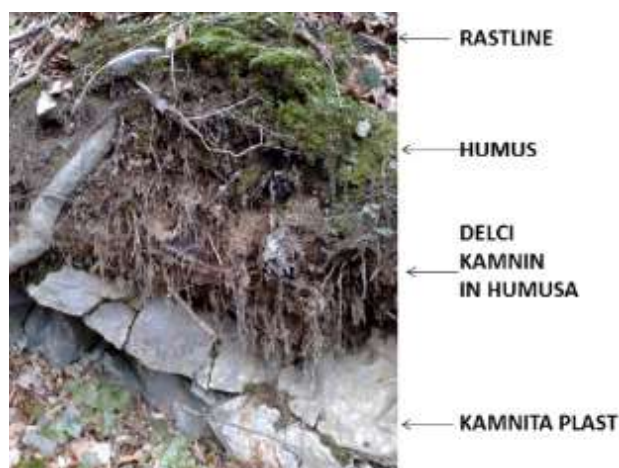
environment. In August 2023, Slovenia was hit by heavy rains that caused floods. The Savinja River reached a height of 335 cm in its upper reaches, overflowed its banks, and took everything that was possible with it. When the water drained away, alluvium remained. We diluted it with clean water and pumped it onto the fields. No one did an analysis of whether we had acted correctly. We returned the land to the fields.

Ključne besede: prst, sestava tal, degradacija tal, poplava, sanacija po poplavi, vračanje prsti na njive

Keywords: soil, soil composition, soil degradation, flood, flood remediation, soil remediation

1 Tla

Prst ali zemlja je vrhnji del Zemljine skorje. To je tanka plast, sestavljena iz preperine kamnin, kaminskega drobirja, humusa in živega sveta. Vmesne prostore imenujemo mikropore in makropore. V mikroporah je voda, makroporah pa zrak. Prst je naravno telo, ki pokriva kamnito zemljino skorjo, in poseben porozni prostor, pedosfera, v kateri živi izjemno veliko število različnih vrst in velikosti organizmov. Prst lahko imenujemo tudi tla. Po zgradbi so tla sestavljena iz slojev oziroma horizontov, ki se razlikujejo po lastnostih. Zaradi razporeditve horizontov v prerezu tal, razlikujemo različne vrste ali tipe tal. Lastnosti izvirne kamnine ter različna intenzivnost delovanja tlotvornih (pedogenetskih) procesov imajo za posledico nastanek mnogih tipov tal, ki so primerni za različne vrste rabe. Nastajanje tal je sicer različno glede na vrsto kamnine, vsekakor je zelo počasen proces in ga merimo najmanj v tisočletjih. Tako je vsako uničenje tal dokončno, saj nastanek novih presega čas trajanja človeške civilizacije. Različna tla se razlikujejo po prisotnosti različno debelih horizontov in skupni globini. Horizonti so rezultat delovanja pedogenetskih dejavnikov (matična podlaga, klima, relief, čas, organizmi) in procesov v celotnem profilu tal. Horizonti največkrat potekajo vzporedno s površjem tal, tako na ravnini kot na pobočju. Zgornji so bogatejši z organskimi snovmi, spodnji pa največkrat skeletni ali ilovnati oz. glinasti. Meja med horizonti je lahko zelo ostra, le 3 cm ali postopna, v globini 10–15 cm. Redkeje je prehod horizontov zelo postopen, npr. na razdalji 30 cm. Meja med dvema horizontoma je lahko ravna, valovita, klinasta ali žepasta. Horizonti so lahko osnovni ali pa tudi mešani. Poznamo pa tudi prehodni horizont, kjer lastnosti zgornjega horizonta postopoma prehajajo v lastnosti spodnjega.



Slika 1: Sestava tal

Vir: <https://eucbeniki.sio.si/nit5/1327/index1.html>

2 Rastline

Rastline so eno izmed kraljestev živih bitij, v katerega uvrščamo približno 300.000 danes znanih vrst. Skupina vključuje splošno razširjene in poznane življenjske oblike, kot so drevesa, cvetnice, trave, praprotnice in mahovi, izključuje pa rdeče in rjave alge, živali, glive, arheje ter bakterije. Za rastline je značilno, da razen izjem pridobivajo energijo za rast in delovanje organizma iz sončne svetlobe s pomočjo procesa fotosinteze, ki poteka v kloroplastih, poleg tega imajo poleg tega imajo njihove celice celične stene, grajene iz celuloze.

Rastline so osnova življenja na Zemlji. Omogočajo življenje vseh drugih bitij, saj so vse druge oblike življenja posredno ali ne posredno navezane na rastlinsko hrano. Nasprotno pa je večina rastlin sposobna s pomočjo sončne svetlobe sama pripravljati hrano. Rastline delimo v dve osnovni skupini. To so cvetnice, rastline s praviimi cvetovi, ki so jim dali tudi ime. Med rastline brez cvetov pa spadajo primitivne rastline, kot so mahovi, praproti, preslice in jetrnjaki, ter golosemenke, kamor spadajo iglavci. Danes živi na Zemlji okrog četrta milijona cvetnic, in to vsepo vsod, od zasneženih gora do izsušenih puščav.



Slika 2: Zemlja daje rastlini vodo, hrano in oporo

Vir: <https://eucbeniki.sio.si/nit5/1327/index1.html>

3 Degradacija tal

Degradacija tal je degenerativen, nepovraten proces, ki ga pogosto povzroči človek ali njegove dejavnosti. Tla v procesu degradacije izgubljajo sposobnost izvajanja za življenje bistvenih funkcij. To ima za posledico izginotje življenja ali izgubo rodovitnosti. Vzroki za izgubo rodovitnosti so lahko mehanski, kemični ali biološki. Ker obnovitev degradiranih tal zahteva zelo veliko časa, spada degradacija tal v praksi med nepovratne pojave poslabšanja kakovosti tal.

Degradacijo tal lahko povzročijo erozija tal, zmanjševanje vsebnosti organskih snovi, onesnaženje tal, izguba tal zaradi pozidave, zbitost tal, zmanjševanje biotske raznovrstnosti, poplave in plazovi.

Ljudje se ne zavedamo, da neprimerno ravnanje z zemljišči povzroči izgube tal že v nekaj sezonah, medtem ko so za nastanek ravnovesja v zgornjih plasteh tal potrebna tisočletja. Zastrahuječe je dejstvo, da na primer vpliv gradnje avtocest na najbolj plodnih tleh uniči naravno bogastvo rodovitne zemlje za vedno.

Bogastvo obdelovalnih površin, ki so na voljo človeštvu, je v zadnjih dvajsetih letih dvajsetega stoletja doseglo svoj zgodovinski maksimum, to je okrog 1,5 milijarde hektarjev zemlje. Vse to povečanje obdelovalne zemlje je šlo na račun krčenja gozdov in savan.

Površina tal z degradacijskimi pojavi se povečuje. Letno izgubimo približno 24 milijard ton površinskih tal. Najbolj intenzivni pojavi degradacije so v Aziji, kjer je že 39 % tal degradiranih.

4 Poplave v Sloveniji, avgusta 2023

Vse od maja 2023 so satelitski posnetki beležili rekordno visoke temperature površine severnega Atlantskega oceana. To je zaradi povečanega izhlapevanja pospeševalo nastanek front, ki so potovale proti vzhodu in povzročale nadpovprečno količino padavin v Srednji Evropi že pred običajnim jesenskim deževnim obdobjem. Meteorologi ARSO so v četrtek, 3. avgusta, izdali napoved dolgotrajnejših nalivov v naslednjih dneh, med katerimi naj bi padla celomesečna količina padavin. Ker je bila že v predhodnem obdobju količina padavin velika, je bil vodostaj rek že povišan in s tem tveganje za nastanek poplav povečano. ARSO je tako izdal oranžni alarm za večji del države. Nihče se ni zavedal, da bo tako hudo.

O obsegu katastrofalnih poplav avgusta 2023 največ povedo zgodbe posameznikov in statistika. Številke so tokrat res zgovorne: 4. avgusta 2023 so bili na 122 merilnih postajah na 74 rekah po vsej državi preseženi pragovi visokih voda, ocenjena povratna doba izrednih padavin pa je bila celo 250 let ali več. Tri največje slovenske reke – Sava, Drava in Mura – so hkrati poplavljalje, najhuje pa so bila prizadeta območja ob Savinji, Meži, Mislinji in Kamniški Bistrici. Zato ne preseneča, da so na številki 112 tistega dne zabeležili skoraj 14 tisoč klicev. Kasneje je bilo evidentiranih 15.517 prizadetih lokacij, evakuiranih pa več kot 8.000 ljudi. Končna ocena škode 3 milijarde evrov, od tega 71 milijonov evrov na kmetijskih zemljiščih.

4.1 Poplave v porečju Savinje

V porečju Savinje je obsežno in uničujoče poplavljal Savinja s hudournišskimi pritoki v zgornjem delu porečja. Obsežne poplave so nastopile tudi ob Savinji v spodnjem toku, zlasti v Laškem. Prvi porasti rek v porečju so se odvijali v četrtek, 3. avgusta, zvečer. Po kratkem premoru ob koncu dneva so vodotoki v povirnem delu porečja pričeli silovito naraščati. Obsežne poplavalne razmere ob vodotokih so se vzpostavile v le parih urah. V Lučah so izmerili do 99 mm dežja v šestih urah, a ga je gotovo padlo še precej več. V petek, 4. avgusta, zgodaj zjutraj je konico poplavnega vala dosegla Savinja v Solčavi pri 335 cm. Pretok Savinje v Solčavi ni ovrednoten zaradi obtekanja merilnega mesta. V prihodnji uri je največji pretok dosegla tudi Lučnica v Lučah pri $271 \text{ m}^3/\text{s}$, dve uri pozneje pa tudi Dreta v Krašah pri $345 \text{ m}^3/\text{s}$. V tem času je največji pretok dosegla tudi Velunja v Gaberkah pri $68,6 \text{ m}^3/\text{s}$. Nekaj po 7. uri je Savinja dosegla največji pretok tudi v Nazarjah oz. Letušu pri 859 oz. $935 \text{ m}^3/\text{s}$. V dopoldanskih urah je sledilo potovanje poplavnega vala Savinje proti spodnjemu toku, pri čemer pritoki reke Savinje dolvodno od Letuša (Paka, Bolska, Ložnica, Voglajna s Hudinjo, Gračnica) niso bili tako izjemni kot pritoki Savinje v zgornjem delu porečja. Kljub temu je Savinja ob strugi obsežno poplavljalja. Zgodaj popoldne je Savinja v Celju dosegla konico poplavnega vala pri 700 cm in $1173 \text{ m}^3/\text{s}$, v prihodnjih urah pa tudi v Laškem oz. Velikem Širju pri 1450 oz. $1532 \text{ m}^3/\text{s}$. Ob vnovičnem porastu v petek, 4. avgusta, popoldne so največje pretoke dosegle tudi Paka, Ložnica in Hudinja, ki so poplavljalje v manjšem obsegu. Visokovodne razmere ob vodotokih v porečju Savinje so se ohranile do nedelje, 6. avgusta, dopoldne. Vodostaj Savinje v Celju je bil dobrih 20 cm nižji kot ob poplavih v letih 1990 in 1998, v Laškem pa dobrih 10 cm nižji ob približno $50 \text{ m}^3/\text{s}$ večjem pretoku. Vpliv izjemno visoke Save na rekordni vodostaj Savinje v Velikem Širju ni izključen. Povratna doba največjih pretokov Savinje v zgornjem toku in Drete je ocenjena na več kot 100 let, Savinje v spodnjem toku pa na 50 let.



Slika 3: Prve ure po poplavi v Spodnji Savinjski dolini

Vir: Tavčer, T., <https://www.mojaobcina.si/polzela/novice/poplave-v-obcini-polzela.html>

4.2 Sanacija po poplavi

Gasilci so najprej, v petek 4 avgusta 2023 reševali življenja. Veliko prostovoljcev je pomagalo pri polnjenju vreč peskom. V petek pozno popoldne je bilo že možno iz nekaterih prostorov izčrpati vodo. Črpanje vode se je nadaljevalo ves naslednji dan, v soboto 5. avgusta. Problem je bil, kam črpati. Kanalizacijske cevi so bile dom vrha polne. Če ni bilo v bližini kmetijskih površin, kjer se je gladina vode že spustila pod nivo objektov je bilo to možno. V nedeljo 6. avgusta je bilo že možno kaj očistiti oziroma oprati.

V naslednjih dneh pa je voda odtekla, ostale so smeti in mulj. Najprej so gasilci in prostovoljci ločili neuporabne predmete.

Ostal pa je mulj. Težko rečemo, da je bila to prst s kmetijskih površin. To je bilo potrebno vrniti na kmetijske površine. Z asfaltnih in betonskih površin bi bilo možno mulj pobrati z nakladačem, naložiti na prikolico in zvoziti na njive. Odločili so se drugače. Mulj so razredčili do takšne redkosti, da je bili to možno počrpati s cisterno.



Slika 4: Redčenje naplavine

Vir: Tavčer, T., <https://www.mojaobcina.si/polzela/novice/poplave-v-obcini-polzela.html>



Slika 5: Črpanje razredčene naplavine s cisterno

Vir: Tavčer, T., <https://www.mojaobcina.si/polzela/novice/poplave-v-obcini-polzela.html>

4.3 Vračanje materiala na njive

Koliko tal voda odnesla ni znano. Zagotovo lahko trdimo, da sta bila poškodovana vsaj dva zgornja horizonta. Kmetijska tla so običajno sestavljena iz več talnih horizontov. Zgornji horizont je horizont O. Ta vsebuje rastlinske ostanke. Pod njim je horizont A. To je obdelovalna plast tal, kjer poteka večina kmetijske dejavnosti. Vsebuje mešanico mineralnih delcev in humusa, zato je bogat s hranili in mikroorganizmi. Ta sloj je ključen za rast rastlin, saj vsebuje največ hranil. Sledi horizont E, to je sloj, iz katerega se pod vplivom vode izperejo določena hranila. Pod njim je Horizont B, kjer se nalagajo minerali in organska snov, ki so se izprali iz zgornjih slojev. Ta sloj je običajno manj bogat z organsko snovjo kot horizont A, vendar vsebuje minerale, kot so železo, aluminij in glina. Kot v abecedi sledi Horizont C, vsebuje drobnnozrnate kamnine, ki še niso razpadle v prst. Služi kot osnovni vir mineralov za zgornje sloje tal. Omenjamo še Horizont R, gre za trdno podlago kamnine, ki se na dolgi rok počasi razgrajuje in tvori zgornje sloje tal.

Z osnovno obdelavo tal obračamo zemljo in menjamo horizonte. Smiselno je, da orjemo do globine, kje se nahaja horizont E in hranila vračamo na površje.

Ob poplavi je bil horizont O odnešen, prav tako pa tudi del horizonta A je voda odnesla. Kako daleč je to potovalo ne vemo. Na bližnje njive smo vrnili material, ki se je nahajal na betonski ali asfaltni podlagi. Predvidevali smo, da gre za pesek, glinene delci in ilovico. Upamo, da samo to.

Mogoče bi bilo boljše, če vode ne bi uporabili in vozili na njive le trd material. Tako bi se izognili tudi spiranju in gaženju tal zaradi razmočenosti. Raztros pa je bil s pomočjo vode enostaven in enakomeren po vsej površini.



Slika 6: Raztros naplavine

Vir: bettermeetsreality.com

5 Zaključek

Degradacija tal povzroča veliko škodo kmetijstvu oziroma pridelavi hrane. Od gradnji infrastrukture se lahko izognemo nekaterih površin. Težje pa je ob poplavih in plazovih.

Ob ujmah želimo zemljo vrniti na področje, kjer je bila. Odnese pa jo daleč stran, zato to ni možno. Poslužimo se možnosti, da zemljo »nasujemo« na bližnjo površino. Če je bila tam odnešena, smo jo nadomestili. Drugače pa jo moramo transportirati precej daleč nazaj.

6 Viri in literatura

Vrščaj, B. (2017). Tla v okolju; Lastnosti, pestrost in ekosistemske storitve tal. https://www.gov.si/assets/ministrstva/MOP/Publikacije/481ad4e057/tla_v_okolju.pdf.

Hribar Kojc, S., Jenko, Š., Mesojedec, D., Mesojedec, A. (b.d.). Naravoslovje in tehnika 5. https://fliphtml5.com/fvba/wyyb/Naravoslovje_in_tehnika_5%C4%8Dbenik_%2824_stran_i%29/24/.

Bebec, D. Kako ohraniti rodovitnost tal, Vrt in vrtnarjenje; Bodi eko. (b.d.) <https://www.bodieko.si/rodovitna-zemlja>.

Vode – Izjemne poplave v Sloveniji med 4. in 8. avgustom 2023. (2023). ARSO. http://rte.arso.gov.si/vode/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/Porocilo_visoke_vode_in_poplave_avg2023.pdf

Poplave 2023: Po letu dni. (2024). Portal GOV.SI - Spletno mesto državne uprave s celovitimi informacijami o njenem delovanju in preprostim dostopom do storitev. <https://www.gov.si/novice/2024-08-02-poplave-2023-po-letu-dni/>.

Leto po katastrofalnih poplavih. (2024). Novice-aktualno, MojaObčina.si. <https://www.mojaobcina.si/aktualno/novice/leto-po-katastrofalnih-poplavih.html>.

Narasla Savinja ni prizanesla niti Občini Polzela. (2023). Polzelan, Poročevalec Občine Polzela, september 2023. https://www.polzela.si/wp-content/uploads/2023/09/polzelan_08-09_2023-2.pdf.

Poplave v Občini Polzela. (2023). Novice-aktualno, MojaObčina.si. <https://www.mojaobcina.si/polzela/novice/poplave-v-obcini-polzela.html>.

Degradacija tal. (b.d.). https://sl.wikipedia.org/wiki/Degradacija_tal.

Poplave. (2023). [https://sl.wikipedia.org/wiki/Poplave_v_Sloveniji_\(2023\)](https://sl.wikipedia.org/wiki/Poplave_v_Sloveniji_(2023)).

Težke kovine,
rastline čistijo svet,
zemlja spet diha.

Rane v zemlji zrejo,
življenje se vrača spet,
zeleni pokrov.

V tleh se skrivajo,
korenine jih pijejo,
svet se obnavlja.

Strupi v globinah,
narava išče miru,
rastline zdravijo.

Haikuje in sliko je s korekcijami naredila umetna inteligenca.

